

Joona Saarnio

# **VIEMÄRIN VUOTOVESITUTKIMUS JÄTEVESIPUMPPAAMOJEN SÄHKÖNKULUTUSTIETOJA HYÖDYNTÄEN**

Vesilahden kunnan jätevesiverkosto

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta

Diplomityö

Helmikuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Joona Saarnio: Viemärin vuotovesitutkimus jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja hyödyntäen - Vesilahden kunnan jätevesiverkosto  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Ympäristötekniikka  
Helmikuu 2019

---

Viemärin vuotovedet ovat ympäristöstä viemäriverkostoon vuotavia pohja- maa- tai hulevesiä, joiden johtaminen ja käsittely on niiden kemiallisten ominaisuuksien vuoksi usein tarpeetonta. Vuotovesimäärien vähentämisellä voidaan vaikuttaa esimerkiksi jäteveden johtamisen ja käsittelyn kustannuksiin sekä viemäröintijärjestelmien toimintavarmuuteen.

Tässä diplomityössä arvioitiin Vesilahden kunnan jätevesiverkoston eri osissa syntyviä vuotovesimääriä, sekä paikannettiin viemärin vuotokohtia korjausta varten. Kiinteiden virtausmittareiden puuttuessa kvantitatiivinen vuotovesitarkastelu toteutettiin jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja hyödyntäen. Tarkastelu perustuu jäteveden pumppauksessa tapahtuviin sähkönkulutuksen muutoksiin, joiden havaittiin indikoivan muutoksia myös jätevesivirtaamassa. Menetelmän käyttöä ja hyödynnettävyyttä pyrittiin perustelemaan teoreettisen tarkastelun lisäksi saatavilla olevalla mittausdatalla. Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että jätevesipumppaamojen sähkönkulutus on riippuvainen viemäriverkoston virtaamasta. Sähkönkulutuksen ja virtaaman yhteyttä voidaan hyödyntää vuotovesimäärien arvioimisessa kohteissa, joissa luotettavaa virtaamadataa ei ole käytettävissä.

Vesilahden kunnan viemäriverkoston vuotovesiprosentti vuonna 2017 oli 43,4 %, joka on valtakunnallista keskitasoa. Laskuttamatonta jätevettä johdettiin puhdistamolle 82 087 m<sup>3</sup>. Vuotokoh- tien paikantamisessa käytettiin yleisiä vuotovesitutkimuksen menetelmiä; savukokeita, kaivojen tarkastuksia ja viemärikuvauksia. Vuotoja havaittiin syntyvän erityisesti huonokuntoisten tarkastuskaivojen ja -putkien sekä jätevesipumppaamojen liitoksistaan irronneiden ylivuotoputkien kautta. Työn tuloksia voidaan hyödyntää Vesilahden kunnan jätevesiverkoston korjausohjelman suunnittelussa ja sen pohjalta tapahtuvassa vuotovesimäärien vähentämisessä.

Avainsanat: jätevesi, pumppaamo, saneeraus, sähkönkulutus, viemäri, vuotovesi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck – ohjelmalla.

# ABSTRACT

Joona Saarnio: Electricity consumption of sewage pumping stations as a tool of infiltration and inflow quantification - Sewage system of Vesilahti municipality  
Master of Science Thesis  
Tampere University  
Environmental Engineering  
February 2019

---

Infiltration and inflow (I/I, extraneous water) of sanitary sewer systems can be defined as groundwater or storm water that undesirably enters the sewage network. Conveying and treating the extraneous water is usually unnecessary, due to the chemical features of it. For example, economic efficiency and operational reliability of wastewater management can be improved by decreasing the amounts of extraneous water.

Formation of extraneous water in Vesilahti municipality's sewage system is surveyed in this thesis. Leaking parts of the network were located to be repaired in sewage rehabilitation. In the absence of fixed flowmeters, the quantitative I/I review was implemented by using the electricity consumption data of the sewage pumping stations. The method is based on the changes occurring in electricity consumption of wastewater pumping. These changes were observed to indicate the changes in the flowrate of wastewater coming to the pumping station. The usage of the method was based on both theoretical review and measurement data. Based on the results, it seems that the electricity consumption of a sewage pumping station is dependent on the flow rate of the sewage coming to it. The connection of these factors can be utilized in assessing the I/I amounts, especially when there is no reliable flowmeter data available.

In 2017, the volume of I/I-water in Vesilahti municipality's sewage system was 43.4 % of all the water conveyed to wastewater treatment plant, which is close to the national average. The percentage corresponds a volume of 82 087 m<sup>3</sup>. Locating the leaking parts of the network was implemented by using common methods of I/I investigation: closed-circuit television (CCTV) inspection, smoke tests and manhole inspection. Based on the observations made, the main routes for I/I to flow into the network seem to be damaged manholes and leaking joints in overflow pipes. The results of this study can be utilized in planning the rehabilitation program of the sewage system of Vesilahti municipality, and in reducing the I/I rate of it.

Keywords: electricity consumption, inflow, infiltration, I/I, pumping station, rehabilitation, sewage, sewer

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Vesilahden kunnan toimeksiannosta syksyn 2018 ja alkuvuoden 2019 aikana. Työ on tehty yhteistyössä Lempäälän Vesi- liikelaitoksen kanssa. Työn ohjaajina toimivat toimitusjohtaja Lasse Sampakoski Lempäälän Vedeltä sekä professori Jukka Rintala Tampereen yliopiston bio- ja kiertotalouden yksiköstä.

Työni ohjaajien lisäksi haluan kiittää Vesilahden kunnan henkilökuntaa tarjoamastaan diplomityömahdollisuudesta ja -aiheesta. Kiitokset myös Lempäälän Veden henkilökunnalle, erityisesti verkostomestari Iiro Leppäselle sekä verkostoinsinööri Arto Löppöselle, joilta olen saanut monenlaista neuvoa ja apua työhöni. Vaimoani Juuliaa haluan kiittää osoittamastaan tuesta sekä kannustuksesta koko opintojeni aikana.

Tampereella, 20.2.2019

Joona Saarnio

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	VIEMÄRIVERKOSTOT .....	3
2.1	Vesihuoltolaitoksen tehtävät ja lainsäädäntö .....	3
2.2	Viemäriverkoston rakenne ja toiminta .....	4
2.2.1	Viemäroinnin peruseriaatteen .....	4
2.2.2	Verkoston rakenne .....	5
2.2.3	Jätevesiputket .....	6
2.2.4	Tarkastuskaivot .....	7
2.2.5	Pumppaamot .....	9
2.3	Vuotovedet .....	11
2.3.1	Määritelmä .....	11
2.3.2	Vuotopaikat .....	12
2.3.3	Vuotovesiin liittyvät tunnusluvut .....	16
2.3.4	Vuotovesimäärät Suomessa ja maailmalla .....	19
2.3.5	Vuotovesien vaikutukset ja suunnittelunäkökohdat .....	21
2.4	Vuotojen paikallistaminen .....	24
2.4.1	Pumppaamotarkastelu .....	24
2.4.2	Savukoe .....	25
2.4.3	Kaivojen kuntoarviointi .....	26
2.4.4	Virtaamamittaukset .....	26
2.4.5	Jäteveden kemiallisen laadun mittaus .....	27
2.4.6	Väriainekoe .....	27
2.4.7	Viemärikuvaus .....	27
2.5	Verkoston saneerausvelka ja vuotovesien vähentäminen .....	28
3.	LÄHTÖTIEDOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT .....	30
3.1	Vesihuolto Vesilahden kunnan alueella .....	30
3.2	Viemäriverkosto .....	31
3.2.1	Vuotovedet Vesilahden kunnan viemäriverkostossa .....	33
3.3	Verkostotieto .....	34
3.3.1	Verkkotietojärjestelmä .....	34
3.3.2	Verkostokartoitus .....	34
3.3.3	Aiempi tutkimus .....	34
3.4	Tutkimusalue .....	35
3.5	Tutkimusmenetelmät .....	35
3.5.1	Vuotovesimäärien arviointi jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja hyödyntäen .....	35
3.5.2	Sähkönkulutuksen ja sademäärän yhteys .....	38
3.5.3	Vuotojen paikallistaminen .....	39
3.5.4	Kaivotutkimukset .....	39
3.5.5	Savukokeet .....	40

3.5.6	Virtaamamittaukset .....	40
3.5.7	Viemärikuvaukset .....	40
3.5.8	Tutkimusten eteneminen .....	41
4.	TULOKSET .....	43
4.1	Sähkönkulutus jätevesivirtaaman indikaattorina .....	43
4.2	Verkoston vuotovesitarkastelu .....	44
5.	TULOSTEN TARKASTELU .....	53
5.1	Vuotovesimäärien arviointi sähkönkulutustiedoilla .....	53
5.2	Verkoston kunto ja pääasialliset vuotolähteet .....	54
5.3	Kohdetutkimuksen havainnot pumppaamopiireittäin .....	56
5.3.1	Rauhala .....	56
5.3.2	Laurila .....	56
5.3.3	Mantere .....	57
5.3.4	Hakkila .....	57
5.3.5	Koskenkylä 1 .....	58
5.3.6	Koskenkylä 2 .....	58
5.3.7	Halme .....	58
5.3.8	Ylämäki .....	59
5.3.9	Koskenjoki 1 .....	59
5.3.10	Koskenjoki 2 .....	60
5.3.11	Tervakallio .....	60
5.3.12	Montionoja .....	60
5.3.13	Heikkilä .....	61
5.3.14	Karhola .....	61
5.3.15	Narvanjoki .....	62
5.3.16	Kippari .....	62
5.3.17	Alholahti .....	63
5.3.18	Järvenranta .....	63
5.3.19	Veikkola .....	63
5.3.20	Kielorinne .....	64
5.3.21	Hovi .....	64
5.3.22	Pappila .....	65
5.3.23	Hovinrinne .....	65
5.3.24	Anunki .....	66
5.3.25	Sorri .....	66
5.3.26	Heiska .....	66
5.3.27	Kirkkolahti .....	67
5.3.28	Kuulia .....	67
5.3.29	Anttila .....	67
5.3.30	Varpe .....	68
5.3.31	Kaakilanmutka .....	68
5.3.32	Kaakila .....	68

5.3.33	Vesiosuuskunnat .....	69
5.4	Virhelähteet .....	69
5.5	Korjausohjelman laatiminen .....	70
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	72
	LÄHTEET .....	73

LIITE A: KAIVOKORTTI

LIITE B: PUMPPAAMOJEN SÄHKÖNKULUTUKSET 2017

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

BOD	Biochemical Oxygen Demand
CCTV	Closed-circuit television
COD	Chemical Oxygen Demand
JVP	Jätevesipumppaamo
PE	Polyethylene
PEH	Polyethylene High-density
PP	Polypropylene
RIL	Rakennusinsinöörien liitto
ROTI	Rakennetun omaisuuden tila
SKTY	Suomen kuntatekniikan yhdistys
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TOC	Total Organic Carbon



# 1. JOHDANTO

Viemäriin vuotovedet ovat vesiä, jotka päätyvät jätevesiverkostoon useimmiten hule- tai pohjavetenä verkoston rikkoontuneiden ja huonosti tiivistetyiden osien tai luvattomien liitosten kautta (Weiß et al. 2002; U.S. EPA 2008). Vuotovesien johtaminen jätevesiverkostossa sekä käsittely jätevedenpuhdistamolla on niiden vähäisen ravinnekuormituksen vuoksi useimmiten tarpeetonta, ja aiheuttaa vesihuoltolaitoksille erilaisia kustannuksia niin verkoston investointi- kuin operointivaiheessa (Franz 2007). Vuosina 2010–2014 suomalaisissa viemäriverkostoissa syntyneiden vuotovesien määrän on arvioitu olleen 37–47 % kokonaisjätevesimäärästä (RIL 2017). Vuotovedet vaikuttavat niin putkistojen, pumppaamojen kuin puhdistamoidenkin mitoittamiseen, ja nostavat operointikustannuksia käsiteltävien jätevesimäärien kasvaessa (Franz 2007). Lisäksi runsaat vuotovesimäärät voivat aiheuttaa tulvimisriskin viemäriverkostossa (Ojala 1983; Raynaud et al. 2017).

Vuotovesitutkimusta on tehty Suomessa jo 1970-luvulta lähtien (Ojala 1983), ja vuotovesitutkimuksen menetelmät ovat kohtalaisen vakiintuneet. Suomen lisäksi tutkimusta on tehty runsaasti myös kansainvälisesti (Ojala 1983; Weiß et al. 2002; Heusala 2005; Rutsch et al. 2006; Ranta 2016; Rödel et al. 2017; Zhang et al. 2018). Vuotovesitutkimuksen tavoitteena on selvittää vuotovesien määrät sekä vuotopaikat, jotta korjaaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä. Vuotovesitutkimuksessa yleistyneisiin menetelmiin voidaan lukea virtausmittaukset, viemärikuvaukset, viemärikaivojen tarkastukset, savukokeet sekä jäteveden kemiallisen laadun mittaaminen.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, voidaanko jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja hyödyntää vuotovesitutkimuksessa. Aikaisemmasta tutkimuksesta ja alan kirjallisuudesta ei pumppaamojen sähkönkulutustietoihin perustuvaa vuotovesilaskennan sovellutusta löytynyt. Vuotovesilaskenta tehdään usein koko verkoston alueelle, mutta yksityiskohtaisempi tarkastelu mahdollistaa saneeraustoimenpiteiden suuntaamisen runsaimmin vuotaville alueille. Oletettavaa on, että sähkönkulutus ja jätevesivirtaama ovat riippuvaisia toisistaan. Yhteyttä voitaisiin hyödyntää vuotovesimäärien laskennassa erityisesti silloin, kun virtaamatietoja ei ole pumppaamolta saatavissa. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus saada tietoa tästä yhteydestä ja sen käytettävyydestä vuotovesitutkimuksessa.

Saatavissa olevan jätevesipumppaamojen sähkönkulutusdatan pohjalta tavoitteena on arvioida, missä viemäriverkoston osissa tutkimuskohteen vuotovedet pääasiallisesti syntyvät, sekä laskea näiden osien tuottamien vuotovesien määrä. Arvioinnin perusteella karotetaan runsaimmin vuotavat verkoston osat. Tarkastelun tukena, vuotokohtien löytämiseksi on tarkoitus käyttää tavanomaisia vuotovesitutkimuksen menetelmiä; viemäriku-

vauksia, viemärikaivojen tarkastuksia, virtaamamittauksia sekä savukokeita. Kartoituksen pohjalta luodaan erillinen viemäriverkoston korjausohjelma, jossa esitetään konkreettiset toimenpiteet vuotovesimäärien vähentämiseksi. Lisäksi työn ohessa tuotetaan erityisesti jätevesiverkostoon liittyvää verkostotietoa vesihuoltolaitoksen käytössä olevaan verkkotietojärjestelmään.

Tutkimusalueena työssä on Vesilahden kunnan omistama viemäriverkosto. Lisäksi tutkimukseen sisällytetään Vesilahden alueella toimivien vesihuolto- osuuskuntien omistamat verkostot niiltä osin kuin näiltä on tietoa saatavilla. Tutkimusalueen ulkopuolelle rajataan rakennetut viemäriverkoston osat, joita ei vielä ole otettu käyttöön.

Vuotovesillä voidaan tarkoittaa myös viemäristä ulos vuotavia vesiä. Viemärin ulospäin vuotaminen voi aiheuttaa esimerkiksi maaperän tai pohjaveden pilaantumista. (Rutsch et al. 2006; Suomen ympäristökeskus 2017) Tässä tutkimuksessa keskitytään kuitenkin yksinomaan verkostoon sisäänpäin vuotaviin vesiin.

## 2. VIEMÄRIVERKOSTOT

### 2.1 Vesihuoltolaitoksen tehtävät ja lainsäädäntö

Vesihuolto voidaan lukea yhdeksi suomalaisen yhteiskunnan tarjoamista peruspalveluista. Vesihuoltolaki (119/2001) määrittelee vesihuollon toiminnaksi, jossa johdetaan, käsitellään ja toimitetaan vettä käytettäväksi talousvetenä, sekä pois johdetaan ja käsitellään jätevesiä. Laki asettaa kunnille velvoitteen huolehtia asianmukaisen vesihuoltolaitoksen perustamisesta, mikäli kuntalaisten tarpeet ja muut syyt sitä vaativat. Lisäksi kunnilla on velvollisuus kehittää vesihuoltoa yhteistyössä sidosryhmiensä kanssa. Vesihuoltolaki säättää myös esimerkiksi vesihuoltolaitoksen varautumisesta häiriötilanteita varten, vesihuoltoon liittyvistä sopimuksista ja kiinteistöjen liittämistä vesihuoltoverkostoon. Laki vesihuoltolain muuttamisesta (681/2014) toi aikaisempaan lainsäädäntöön pienenhköjä muutoksia esimerkiksi vesihuoltolaitoksen toiminta-alueeseen sekä kiinteistöjen liittämismvelvollisuuteen liittyen. Lain mukaan vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella sijaitsevan kiinteistön on liitettävä saatavilla olevaan vesihuoltoverkostoon. Poikkeuksia säännöksestä sallitaan esimerkiksi taajaman ulkopuolisilla alueilla, jos kiinteistön talous- tai jätevesijärjestelmä on rakennettu ennen vesihuoltolaitoksen toiminta-alueen vahvistamista, ja muun lainsäädännön asettamat vaatimukset täyttyvät. Suomessa vesihuoltoverkostoihin on liittynyt noin 90 %, ja jätevesiverkostoihin noin 85 % kotitalouksista (RIL 2017). Vuonna 1970 vastaavat luvut olivat 57 % ja 53 % (Katko 2016). Vesihuoltolaitoksen toiminta-alueen ulkopuolella noudatetaan valtioneuvoston asetusta talousjätevesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisella alueella (157/2017), eli niin kutsuttua jätevesiasetusta.

Euroopan Unioni säätelee jäsenmaidensa jätevesiin liittyviä asioita direktiivillä yhdyskuntajätteiden käsittelystä (91/271/ETY). Se velvoittaa EU- maat keräämään jätevedet kaikilta yli 2000 asukkaan taajamilta, sekä soveltamaan biologista käsittelyä jätevesien puhdistuksessa. Direktiivi myös velvoittaa EU- jäsenmaita seuraamaan ja ylläpitämään jätevedenpuhdistamoidensa kuntoa ja puhdistustuloksia. Lainsäädännöllä pyritään suojelemaan erityisesti vesistöjä yhdyskuntajätevesien kuormitukselta. Suomessa direktiivin vaatimukset on sisällytetty kansalliseen lainsäädäntöön. Esimerkiksi valtioneuvoston asetuksessa yhdyskuntajätevesistä (888/2006) käsitellään yhdyskuntajätevesien johtamista ja käsittelyä. Asetus velvoittaa vesihuoltolaitokset sisällyttämään taajamat toiminta-alueensa jätevesiviemäriverkoston piiriin. Typen ja fosforin poistolle jätevesien käsittelyssä on asetuksessa annettu raja-arvot, joita jätevedenpuhdistuslaitosten tulee noudattaa. Lisäksi asetus velvoittaa vesihuoltolaitoksia tarkkailemaan puhdistuslaitostensa toimintaa ja niissä saavutettuja puhdistustuloksia. Asetuksessa kehoitetaan kiinnittämään erityistä huomiota viemäriverkoston vuotovesien syntymiseen, yhdyskuntajäteveden määrään ja laatuun sekä ylivuotovesistä aiheutuvan vesien pilaantumisen rajoittamiseen.

Lain mukainen vesihuollon määritelmä ei koske hulevesien johtamista tai käsittelyä, josta on vesihuoltolaissa säädetty erikseen. Myös maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) on hulevesijärjestelyitä koskevia säännöksiä. Vedenotosta ja jätevesien käsittelyyn liittyvistä asioista on lisäksi säädetty esimerkiksi vesilaissa (587/2011) ja ympäristönsuojelulaissa (527/2014) sekä näitä lakeja koskevissa asetuksissa. Esimerkiksi valtioneuvoston asetus vesitalousasioista (1560/2011) käsittelee pääosin vesitaloushankkeita kuten vedenottoa koskevia lupa-asioita.

## **2.2 Viemäriverkoston rakenne ja toiminta**

### **2.2.1 Viemäröinnin perusperiaatteet**

Viemäriverkoston tehtävä on koota jätevedet kulutuspaikoista, johtaa ne jätevedenpuhdistamolle sekä purkaa puhdistettu jätevesi ympäristöön (Karttunen 2010). Viemäröintijärjestelmät voidaan jakaa eri tyyppeihin joko viemäriin johdettavien vesien perusteella, tai vesien kulkeutumisperiaatteen perusteella. Kun viemäriin johdetaan jätevesien lisäksi hulevedet sekä kuivatusvedet, on kyse sekaviemäröinnistä (Kajosaari 1981; Karttunen 2010). Sekaviemäröinti on aikaisemmin ollut pääasiallinen viemäröinnin muoto, mutta se on vähentynyt vesihuoltolaitosten laajentuessa (Karttunen 2010). Sekaviemäröinti on ainakin osittain käytössä vielä joissain suomalaisissa kunnissa, mutta siitä pyritään useimmiten pääsemään eroon sen aiheuttamien ongelmien vuoksi (Karttunen 2010). Etenkin sadetapahtumien aikaan sekaviemärit ovat olleet herkkiä tulvimaan (Raynaud et al. 2017). Tämän vuoksi sekaviemäröinneissä on käytetty tulvakynnsrakenteita, joiden tarkoituksena on viemärin tulvimisen estämiseksi ohjata suurimpien virtauksien aikaisia vesiä suoraan vesistöön (Karttunen 2010). Sekaviemärin johtama hulevesi laimentaa jätevedenpuhdistamolle saapuvaa jätevettä, minkä seurauksena laitoksen biologinen puhdistusprosessi voi hidastua ja menettää tehoa. Lisäksi hule- ja kuivatusvesien puhdistaminen on usein tarpeetonta niiden ravinnekuormituksen ollessa vähäinen. Ne myös aiheuttavat lisäkustannuksia esimerkiksi kasvaneena energiankulutuksena jäteveden pumppauksessa sekä käsittelyssä. (Kajosaari 1981; Franz 2007)

Erillisviemäröinnissä jätevedet ja hulevedet johdetaan erillisissä putkistoissa (Kajosaari 1981; Karttunen 2010). Hulevesien johtamisessa voidaan käyttää myös avo-ojia. Erillisviemäröinnissä etuna on viemäriin kulkevien vesimäärien parempi ennustettavuus sekä viemärin tulvimisen väheneminen. Jätevedenpuhdistamoita tai viemäriputkia ei tarvitse mitoittaa rankkasateiden aikaiselle hulevesikuormitukselle, ja ohijuoksutuksilta vesistöihin useimmiten vältytään. (Kajosaari 1981)

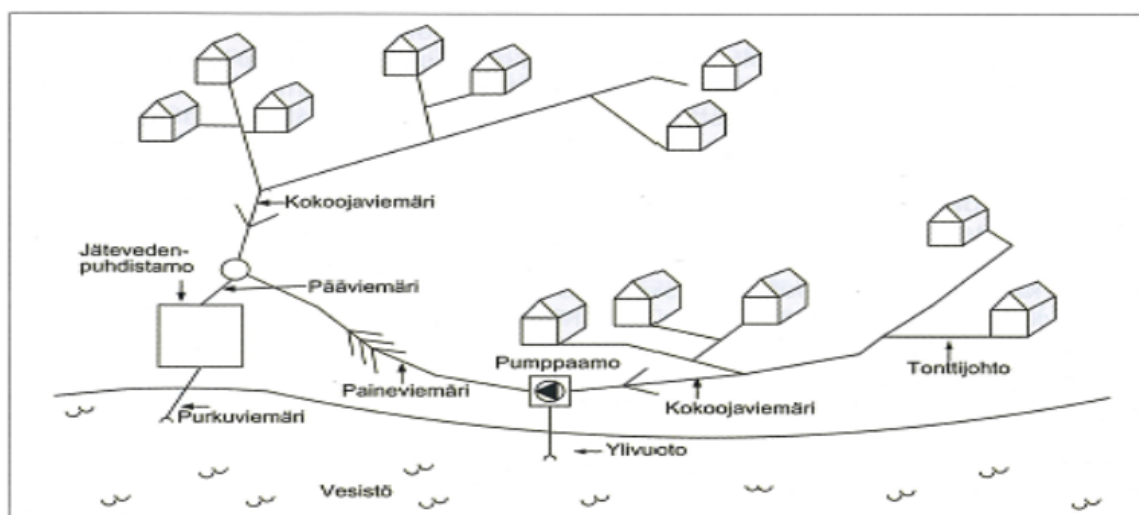
Jaettaessa viemäröintityyppi vesien kulkeutumisperiaatteen mukaisesti, puhutaan joko vietto- tai paineviemäristä. Vietto- eli gravitaatioviemäriin jätevesi kulkee painovoimaisesti, usein maaston muotoja mukaillen (Karttunen 2010). Viettoviemäriin on oltava riit-

tävä kaltevuus, jotta vesi ei jää seisomaan putkeen, ja jäteveden mukana kulkeutuva kiintoaines huuhtoutuu verkostossa eteenpäin. Suositeltava kaltevuus viettoviemäreille riippuu mitoitusvirtaamasta ja siten käytettävän putken koosta. Esimerkiksi halkaisijaltaan 200 mm olevalle viemäriputkelle suositeltu vähimmäiskaltevuus on 7 ‰ (Karttunen 2010). Jos kaltevuutta ei maaston muotojen tai muiden ominaisuuksien vuoksi saada riittäväksi, on käytettävä paineviemäreitä. Paineviemärin tarkoituksena on pumpata jätevettä ylempään korkeustasoon, jonka jälkeen jäteveden painovoimainen eteenpäin johtaminen on mahdollista. Paineviemäri voi olla myös vakiosyvytydessä siten, että viemärin korkeustaso ei muutu (Karttunen 2010). Paineviemärin pituus ja pumpattavan jäteveden nostokorkeus tulisi energian säästämiseksi minimoida. Pumpkauksen energiankulutuksen lisäksi paineviemärin käyttöön liitettyjä ongelmia ovat jäteveden pitkähköt viipymäajat sekä paineviemärin purkupään hajuhaitat (Karttunen 2010). Paine- ja viettoviemärin lisäksi on olemassa myös erilaisia imuviemärijärjestelmiä, mutta niiden käyttö etenkin kunnallistekniikassa on vähäistä (Karttunen 2004).

Viemäroinnissä usein käytetty ratkaisu on viettoviemärin ja paineviemärin yhdistelmä. Tällöin paineviemäri on rakennettu sellaisille verkoston osuuksille, joissa viemäriputkille ei ole saatu riittäviä kaltevuuksia, tai viettoviemärin rakentaminen olisi kallista esimerkiksi maaperäolosuhteista johtuen. Normaaliolosuhteissa viettoviemäri on kuitenkin paineviemäriä yleisempi viemärointimuoto (Karttunen 2004).

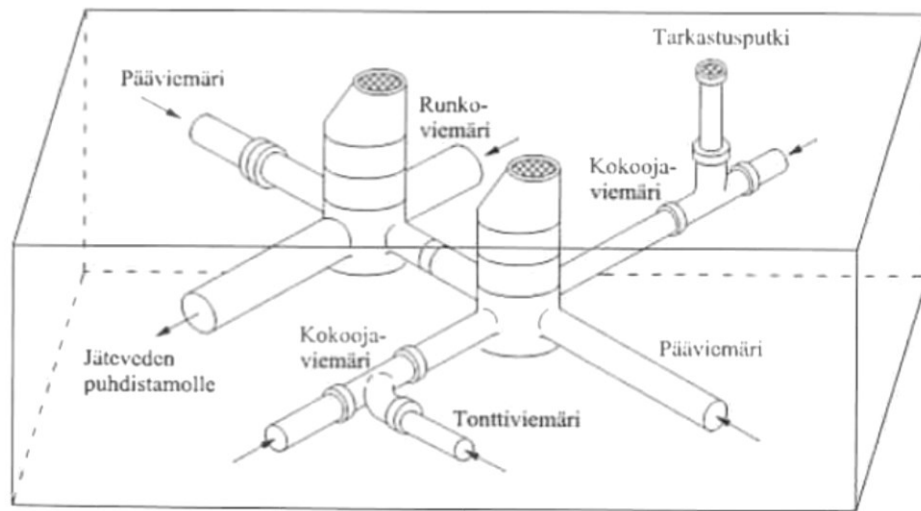
## 2.2.2 Verkoston rakenne

Jätevesiverkosto koostuu kiinteistöjen tonttijohdoista, kokoojaviemäreistä sekä runkoviemäristä (Kuva 1).



*Kuva 1. Jätevesiverkon osat (Karttunen 2010)*

Tonttijohtojen tarkoitus on johtaa kiinteistössä syntyvät jätevedet kokoojaviemäreihin. Kokoojaviemäreistä jätevedet johdetaan runkoviemäriin, ja lopulta jätevedenpuhdistamolle. Viettoviemärin tyypilliset osat on havainnollistettu Kuvassa 2.



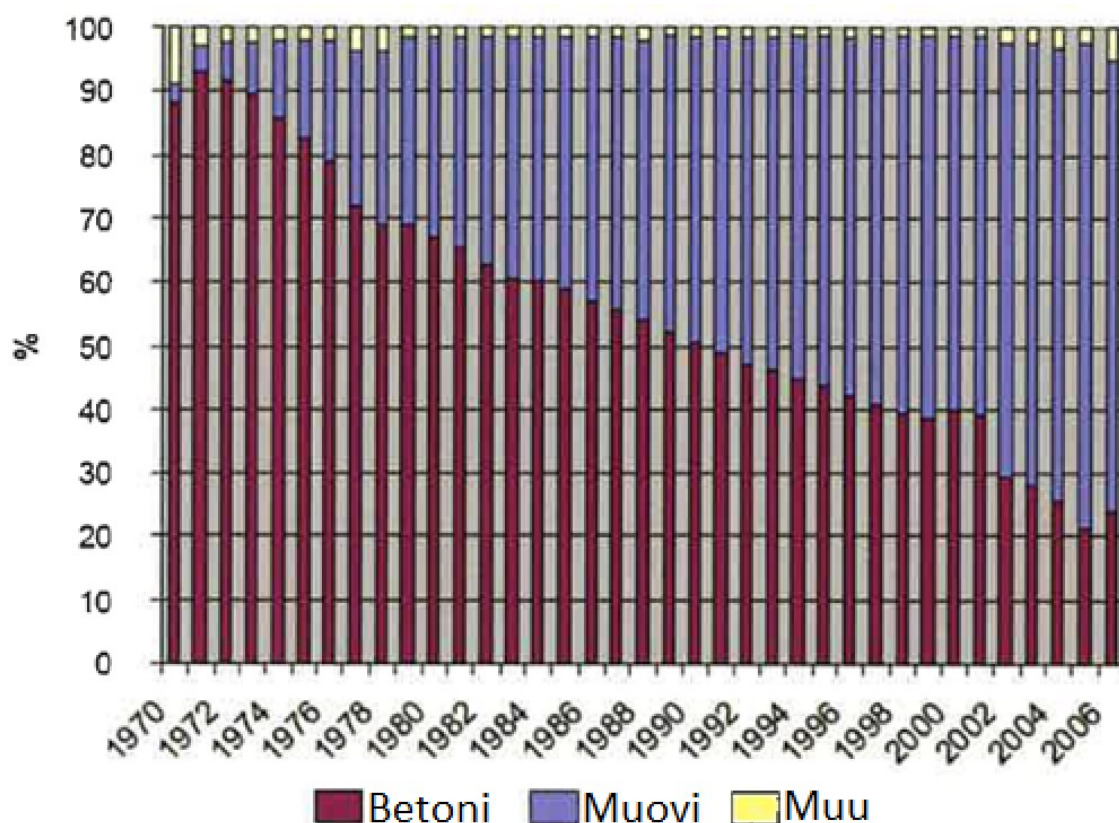
**Kuva 2. Tyypilliset viettoviemärin osat (Karttunen 2004)**

Erilaisten viemäriputkien ja pumppaamojen lisäksi viemäröintijärjestelmään kuuluu useimmiten myös tarkastuskaivoja ja -putkia sekä näiden liitososia (Kuva 2).

### 2.2.3 Jätevesiputket

Jätevesiputken valinnassa tulee huomioida käytettävän putkimateriaalin ominaisuudet. Putken tulee kestää kemiallista korroosiota, jäteveden ja sen sisältämän kiintoaineen aiheuttamaa mekaanista kulutusta, sekä maanpainetta ja muita ulkoisia kuormituksia. Myös rakentamisen aikainen käsittely aiheuttaa rasitusta putkille. Putkien käsittely ja asentaminen tulee olla mahdollisimman helppoa, ja putkiliitokset on saatava tiiviiksi. Putken pinnan karheuden tulee olla mahdollisimman pieni, jotta virtausvastukset eivät kasva suuriksi. (Kajosaari 1981, Karttunen 2004)

Suomessa käytettävät jätevesiputket ovat useimmiten betonista tai muovista valmistettuja. Betoniputkia käytetään erityisesti suuriläpimittaisissa runkoviemäreissä (Katko 2016). Muoviputken käyttö jätevesiverkostoissa on lisääntynyt viime vuosikymmeninä merkittävästi (Kuva 3).



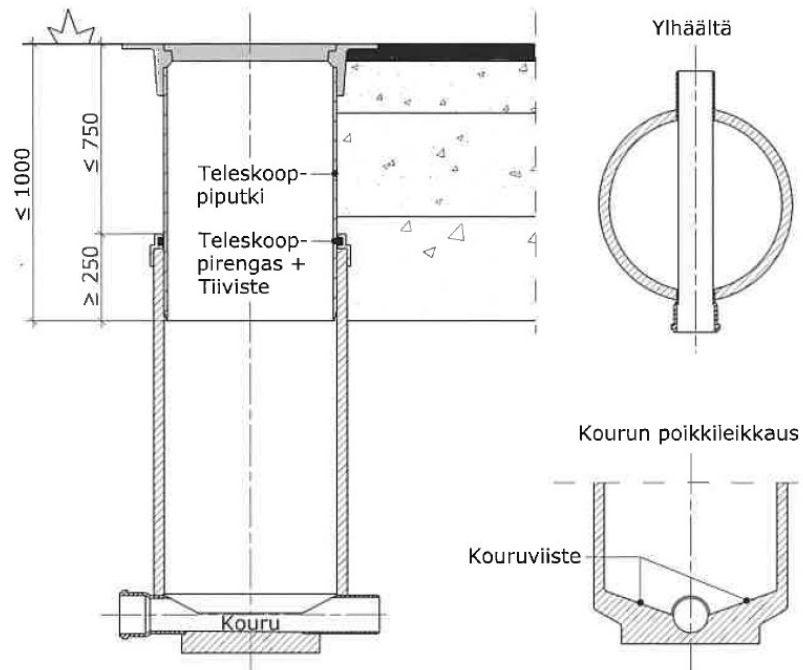
**Kuva 3. Viemäriverkoston putkimateriaalit Suomessa 1970–2000 ja arvio vuosilta 2001–2006 (Muokattu lähteestä Maa- ja metsätalousministeriö 2008)**

Vielä 1970-luvulla jätevesiverkostot koostuivat lähes yksinomaan betoniputkista. Vuonna 2006 muoviputkien arvioitu osuus oli jo yli 70 %. Muoviputket ovat joko PVC-, PP-, tai PE-putkia (Rakennustieto 2009). Muita materiaaleja ovat esimerkiksi teräs- ja valurautaputket, joiden käyttö viemäriverkostossa on vähäistä.

## 2.2.4 Tarkastuskaivot

Viettoviemäriosuuksille asennettavat tarkastuskaivot mahdollistavat huoltotoimenpiteiden suorittamisen jätevesiverkostossa. Hyvän rakennustavan ja alan ohjeistuksen mukaan tarkastuskaivoja asennetaan putkiosuukien mutka- ja risteyskohtiin, sekä yksi kaivo jokaista 50–80 metrin putkiosuutta kohden (Karttunen 2004). Tarkastuskaivojen välinen putkiosuus on siten suora, mikä helpottaa viemärin huoltoa. Tarkastuskaivoja valmistetaan viemäriputkien tavoin betonista sekä muovista. Muovisten tarkastuskaivojen (Kuva 4) ja -putkien valmistuksessa noudatetaan standardin SFS 3468 vaatimuksia (Karttunen 2004). Muovia käytetään usein pienempiläpimittaisissa kaivoissa, tavallisimpien halkaisijoiden ollessa 400, 560 ja 800 mm. Kaivon, johon huoltotyötä tekevän henkilön on voitava laskeutua, on oltava halkaisijaltaan vähintään 800 mm, ahtaimman aukon kohdalla vähintään 500 mm (Rakennustieto 2009). Tarkastuskaivoissa ja -putkissa voidaan käyttää teleskooppikansistoa, mikäli siihen kohdistuu esimerkiksi liikenteen aiheuttamaa kuor-

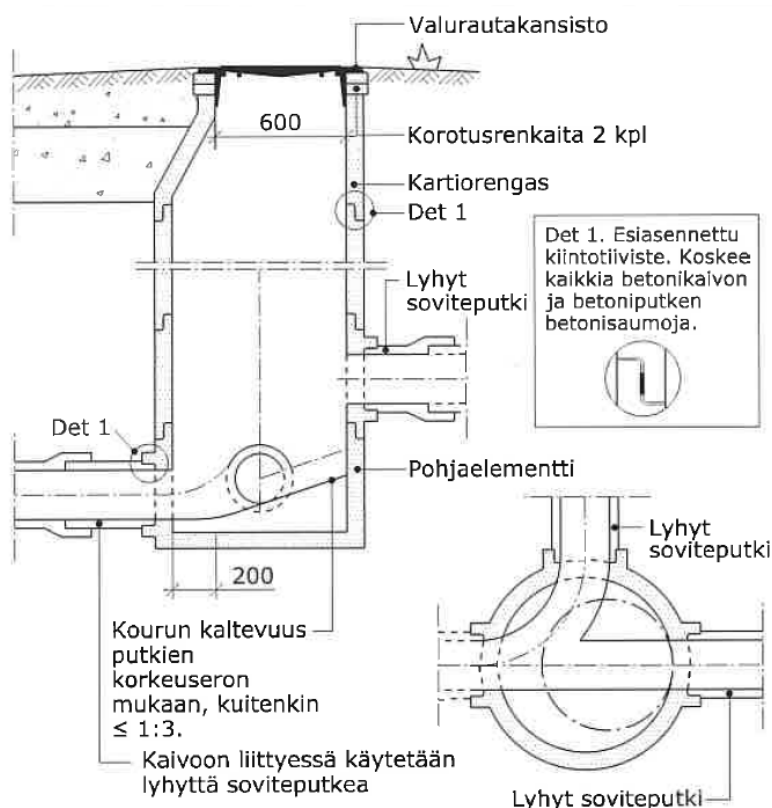
mitusta. Teleskooppiosan avulla kansisto voidaan säätää oikeaan tasoon kaivoa asennettaessa. Kaivo voidaan asentaa myös ilman teleskooppiosaa, jolloin se tulpataan (Rakennustieto 2009) esimerkiksi muovi- tai teräskannella.



**Kuva 4. Muovinen tarkastuskaivo teleskoopilla (Rakennustieto 2009)**

Betoniset kaivot (Kuva 5) kootaan työmaalla tehdasvalmisteisista pohjaelementeistä, kaivonrenkaista sekä korotusrenkaista (Rakennustieto 2009).





**Kuva 5. Betoninen tarkastuskaivo (Rakennustieto 2009)**

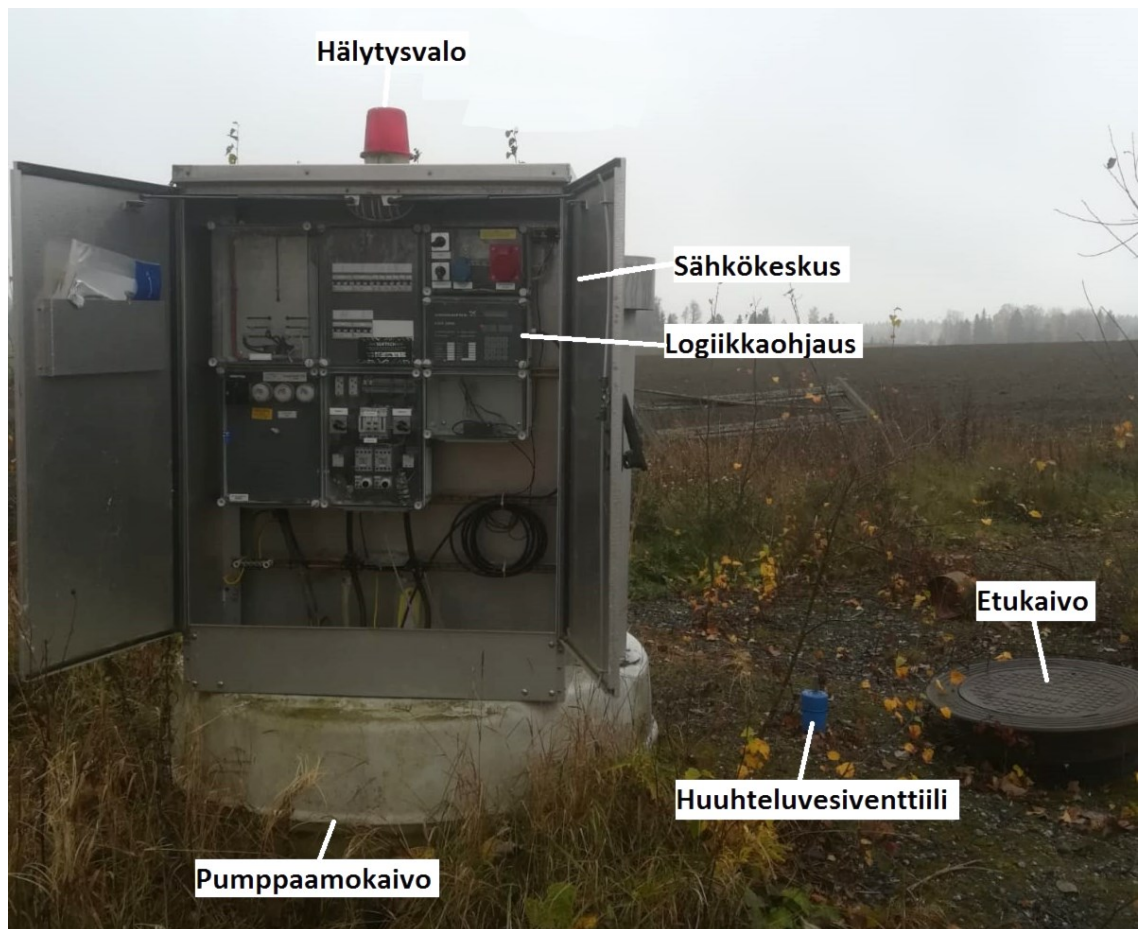
Betoniset tarkastuskaivot ovat halkaisijaltaan useimmiten 1000 mm tai 800 mm. Tiivistäen osien välissä käytetään standardien mukaisia tiivistysmateriaaleja; joko kiintotiivisteitä tai tarvittaessa tiivistenauhaa (Rakennustieto 2009).

## 2.2.5 Pumppaamot

Jätevesipumppaamoita tarvitaan tuottamaan paineviemärijärjestelmän edellyttämä paine. Pumppaamoja on erilaisia, riippuen esimerkiksi suunnitellusta kapasiteetista ja rakennusvuodesta. Pumppaamo voi olla joko kiinteistön tai vesihuoltolaitoksen omaisuutta, riippuen pumppaamon käyttäjien määrästä. Useamman liittyjän pumppaamot ovat usein vesihuoltolaitoksen omaisuutta, kun taas yksittäiset kiinteistöpumppaamot omistaa pääsääntöisesti kyseisen kiinteistön omistaja. Jätevesi tulee pumppaamolle useimmiten etukaivon kautta. Etukaivoon kootaan kaikki pumppaamolle tulevat kokooja- tontti- ja pääviemärit. Kaivosta jätevesi johdetaan yhtä putkea pitkin pumppaamoon. Etukaivosta on usein viety myös pumppaamon ylivuotoputki esimerkiksi läheiseen ojaan, joskus myös umpisäiliöön tai hulevesiverkostoon. (Karttunen 2004; Garr et al. 2008; Siintoharju 2016)

Pumppaamot toimivat usein pintaohjauksella. Kun pintakytkin havaitsee jätevedenpinnan nousseen pumppaamokaivossa sille määriteltyyn raja-arvoon, se käynnistää pumpun. Kun pinta saavuttaa pintakytkimelle asetetun alarajan, pumpu pysähtyy. Ylä- ja alarajan välistä, yhden pumppaustapahtuman siirtämää jätevesitilavuutta kutsutaan pumppaamon

teholliseksi tilavuudeksi (Grundfos Oy 2014). Pintakytkimien lisäksi vedenpinnan tason mittauksessa käytetään esimerkiksi paineantureita. Pumppaamon sähkökeskukseen voidaan asentaa logiikkaohjausjärjestelmä pinnan tason ja pumppujen käytön ohjaukseen. Häiriötilanteita varten pumppaamoilla on hälytysvalot. Lisäksi pumppaamoihin on saatavissa erilaisia kaukovalvontajärjestelmiä. Pesua varten pumppaamolla voi olla huuhteluvesiliitäntä ja sille venttiili. (Garr et al.2008; Hunter Water 2008) Tyypillisen pienehkön valmispumppaamon ulkoiset osat on esitetty Kuvassa 6.



**Kuva 6. Tyypilliset jätevedenpumppaamon maanpäälliset osat**

Pumput ovat usein uppopumppuja, ja sijoitettuna pumppaamokaivoon. Normaalisti pumppuja on kaksi, ja ne ovat vuorottelukäytössä toimintavarmuuden takaamiseksi. Pumppaamoilla voidaan käyttää myös kuiva-asenteisia pumppuja (Grundfos Oy 2014). Pumppujen määrä vaihtelee pumppaamon koon mukaan. Pienillä kiinteistöpumppaamoilla pumppuja on usein vain yksi, suuremmilla voi olla useampi.

## 2.3 Vuotovedet

### 2.3.1 Määritelmä

Vuotovedet ovat vettä, joka tulee viemäriin tahattomasti maaperästä, tai viemäriin tarkoituksellisesti kytketyistä hule- ja kuivatusvesiputkista (Karttunen 2004; Franz 2007; U.S. EPA 2008). Vuotovedet voidaan luokitella niiden syntymismekanismin mukaan, jolloin puhutaan varsinaisesta vuotovedestä ja hulevuotovedestä (Laakso 2016; Ranta 2016). Varsinaisesta vuotovedestä, eli maaperästä viemäriverkostoon tulevan veden virtaamaan vaikuttavat esimerkiksi pohjaveden pinnan taso, verkoston vauriotiheys sekä kaivantojen täyttömateriaali (Karttunen 2004; Franz 2007). Esimerkiksi tilanteessa, jossa putki-kaivannon täyttö on tehty hyvin vettä läpäisevästä maa- aineksesta, pohjavesi voi pahimmassa tapauksessa lähteä virtaamaan putken myötäisesti, kunnes se saavuttaa vuotopaikan josta vesi pääsee viemäriin (Weiß et al. 2002). Varsinaisen vuotoveden kausittainen virtaaman vaihtelu ei ole niin voimakasta kuin hulevuotovesillä (Franz 2007).

Hulevuotovedet ovat määritelmänsä mukaisesti hulevesiä, jotka tahallisesti tai tahattomasti johdetaan jätevesiviemäriin (Heusala 2005, Franz 2007). Hulevuotovesiä ovat esimerkiksi piha- ja katualueiden hulevedet, rakennusten katoilta johdettavat vedet sekä lumen sulamisesta syntyvät hulevedet, jotka päätyvät viemäriverkostoon pintavalunnan tai luvattomien putkiliitosten kautta (Franz 2007; U.S. EPA 2008). Hulevuotovesien syntyminen on usein suoraan tai pienellä viiveellä yhteydessä sadeolosuhteisiin ja lumen sulamiseen. Hulevuotovesistä on mielekästä puhua ainoastaan erillisviemäröinnin yhteydessä, sillä sekaviemäröinnissä hulevesien liittäminen jätevesiverkostoon on tarkoituksellista ja tiedostettua. Sadevesistä syntyvän huleveden määrä voidaan arvioida, kun tiedetään sateen rankkuus, tarkasteltavan alueen pintavaluntakerroin ja valuma- alueen pinta- ala (Karttunen 2004):

$$Q = q\varphi A, \tag{1}$$

jossa

$Q$  = hulevesivirtaama

$q$  = mitoitusateen rankkuus

$\varphi$  = pintavaluntakerroin

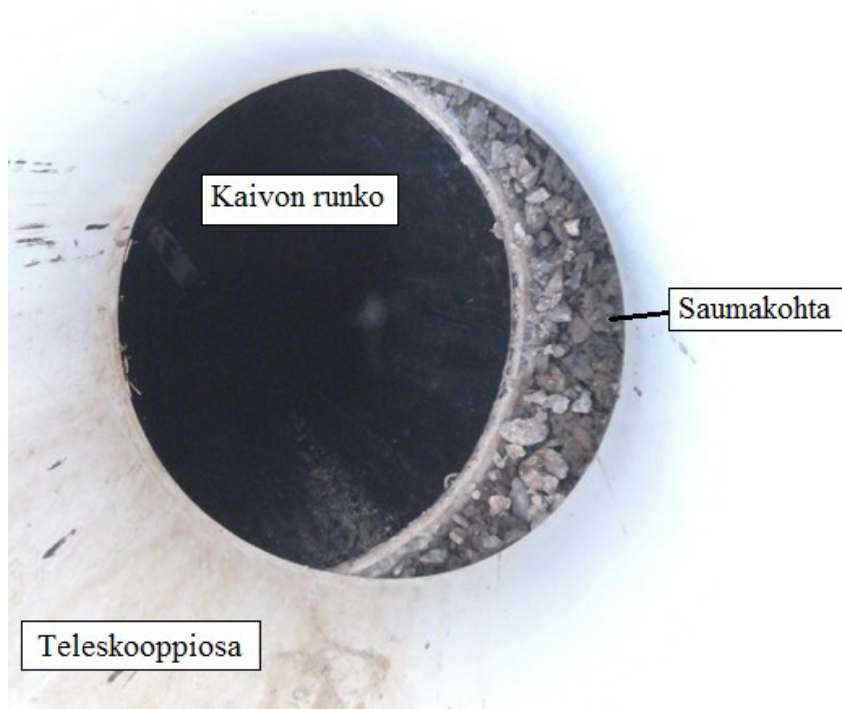
$A$  = valuma-alueen pinta-ala

Pintavaluntakerroin on maaperän pintamateriaalista riippuva suure, joka kuvaa sitä osuutta sade- tai sulamisvedestä, joka ei pääse suoraan suotautumaan maaperään, vaan siirtyy pintavaluntana hulevesijärjestelmään tai suoraan lähiympäristöön. Esimerkiksi 2000 m<sup>2</sup> kokoisella asfaltoidulla parkkialueella ( $\varphi = 0,80$ ) hulevesiä syntyy 32 l/s, kun käytetään mitoitusateena 10 minuuttia kestävää, arviolta kymmenen vuoden välein Suo-

messa toistuvaa sadetapahtumaa (Karttunen 2004). Tämän kokoluokan virtaama voi verkoston laajuudesta riippuen aiheuttaa tulvimisriskin, mikäli se on johdettu jätevesiviemäriin.

### 2.3.2 Vuotopaikat

Varsinaiset vuotovedet (infiltration) ovat määritelmänsä mukaisesti peräisin pohjavedestä (U.S. EPA 2008). Pohjavesi pääsee virtaamaan viemäriverkoston esimerkiksi vuotavien putkiliitosten ja putkien halkeamien kautta (Weiß et al. 2002). Myös tarkastuskaivojen ja -putkien vauriot voivat aiheuttaa vuotovesien syntymistä (U.S. EPA 2008). Muovikaivojen teleskooppiosien liitoskohdista vuotavat vesimäärät voivat olla suuria etenkin silloin, kun teleskooppiosan asentamisessa on tapahtunut virheitä eikä liitos ole tiivis. Oulun yliopistossa tehdyssä diplomityössä (Matero 2017) todettiin kyselytutkimuksen perusteella muovikaivojen yleisimmäksi vuotolähteeksi teleskooppiputken ja kaivon rungon välinen saumakohta (Kuva 7).



**Kuva 7. Irtonainen teleskooppiosa muovisessa tarkastusputkessa**

Teleskooppiosan tarpeellisuus tulee harkita uutta viemärikaivoa suunniteltaessa. Se on usein tarpeeton, jos kaivon tai tarkastusputken korkeutta ei tarvitse säätää, eikä kaivoon kohdistu suuria pystysuuntaisia kuormituksia. Esimerkiksi tien piennaralueet ja pellonreunat ovat tällaisia asennuspaikkoja. Ajo-radalle asennettavissa muovikaivoissa käytetään teleskooppista yläosaa (Rakennustieto 2009), sillä kansisto on saatava tarkalleen ajo-radan tasoon, ja liikenteen sekä roudan aiheuttamat kuormitukset voisivat rikkoa kiinteärunkoisen kaivon.

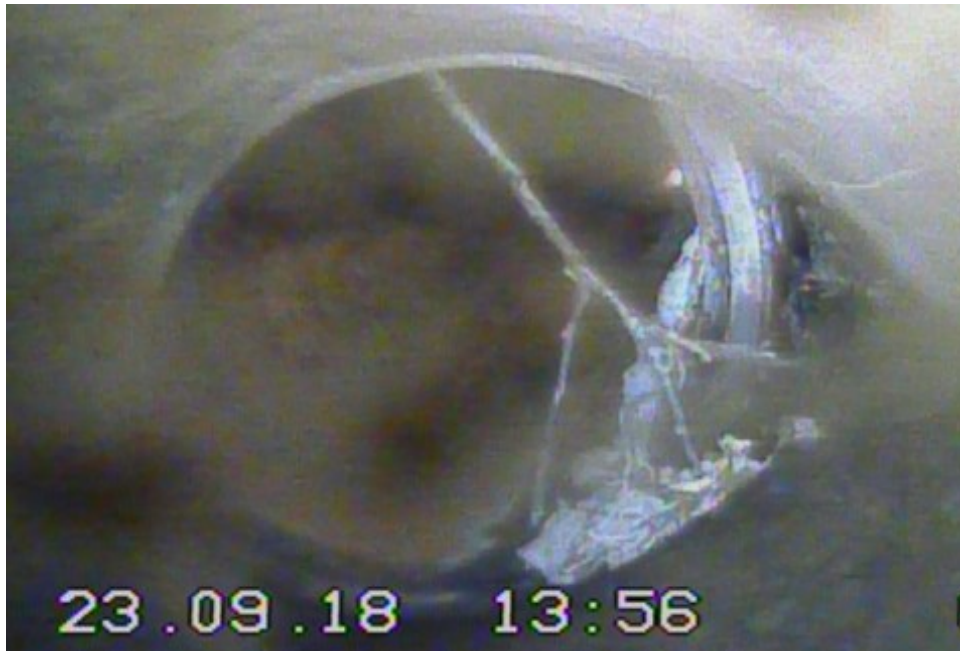
Viemärikaivoissa voi esiintyä myös halkeamia, muodonmuutoksia, vuotavia saumoja ja irtonaisia osia, jotka kaikki osaltaan lisäävät vuotovesimääriä. Vanhat betonikaivot vuotavat usein kaivonrenkaiden välistä tai paikalleen valetuista putkiliitoksista. Kaivonrenkaiden saumojen on raportoitu olevan betonikaivojen yleisin vuotolähde (Matero 2017) (Kuva 8).



***Kuva 8. Kaivonrenkaiden välistä vuotava betoninen tarkastuskaivo***

Viemäriputkistot voivat tuottaa vuotovesiä myös irtonaisten putkiliitosten sekä muodonmuutosten aiheuttamien vauriokohtien kautta. Erityisesti alueilla, jossa pohjavedenpinta on viemäriputken yläpuolella, vuotoriski korostuu. Pohjaveden lisäksi vuotokohdasta saattaa kulkeutua viemäriputkeen maata sekä puiden juuria (Kuva 9).





***Kuva 9. Irtonainen putkiliitos pumppaamon ylivuotoputkessa***

Vesihuoltolaitoksen omistamien viemäriputkistojen lisäksi kiinteistöjen tonttivilmäreiden kunto vaikuttaa huomattavasti varsinaisten vuotovesien syntyyn. Tonttivilmäriin omistaa jätevesiverkostoon liittyneen kiinteistön omistaja, jonka tulisi myös vastata niiden kunnosta. (Franz 2007). Tonttijohdot on rakennettu usein yksityisesti, eikä rakennustyötä aina ole valvottu (Weiß et al. 2002; Franz 2007). Tonttijohtojen kuntoa ei usein myöskään seurata, ja niitä korjataan tai huolletaan verrattain harvoin (Franz 2007). Saksassa Göttingenin kaupungissa jopa 92 % tonttijohdoista on kuvauksin ja painekokein osoitettu puutteellisesti tiivistetyiksi (Ballweg 2002, Franz 2007 mukaan). Tonttijohtojen osuus viemäriverkoston kokonaispituudesta voi olla suuri, mikä osaltaan lisää niiden merkitystä vuotovesien syntymisessä. Suomessa tonttivilmäreiden kokonaispituuden on vuonna 2003 arvioitu olleen noin 10 200–15 300 km, mikä vastaa noin 25–35 % muun viemäriverkoston pituudesta (Karttunen 2010).

Varsinaisten vuotovesien syntyminen on useissa tutkimuksissa osoitettu riippuvan pohjavesien korkeudesta (Weiß et al 2002; Franz; 2007; Karpf et al. 2011). Jätevesipumppaamojen pumppaamokaivot ovat sijoittelunsa ja syvyytensä vuoksi usein pohjavedenpinnan alapuolella, joten vuotoja voi esiintyä esimerkiksi tulo- tai lähtöputkien läpivienneissä. (Kuva 10).



***Kuva 10. Vuotava tuloyhde jätevedenpumppaamolla***

Hulevuotovedet syntyvät nimensä mukaisesti viemäriverkostoon johdetuista hulevesistä. Esimerkiksi kiinteistöjen kattojen ja piha- alueiden hulevedet viemäriin johdettuna voivat lisätä huomattavasti viemäriveresivirtaamia. Erityisesti vanhoilla asuinalueilla, jonka kiinteistöt on jälkeinpäin liitetty aiemmin käytössä olleiden sako- ja umpikaivojen kautta kunnalliseen viemäriverkostoon, hulevuotovesiä syntyy näihin kaivoihin mahdollisesti liitettyjen hule- ja kuivatusvesiputkien kautta. Vanhoissa salaojaputkissa ei aina ole yhteyttä maan pinnalle, joten niiden havaitseminen voi olla vaikeaa. Hulevuotovesiä syntyy myös sade- tai sulamisvesien virratessa viemäriin tarkastuskaivojen ja -putkien kansistojen raoista viemärikaivoon (Yap & Ngien 2017). Paloposti- ja vesijohtokaivojen kuivatusvedet on joissain tilanteissa voitu myös tarkoituksellisesti johtaa viemäriin.

Hulevuotovesien määrä riippuu usein tarkasteltavan alueen pintavaluntakertoimesta. Myös viemärikaivojen sijoittelu vaikuttaa siihen, päätyvätkö hulevedet vuotona viemäriin. Ojan pohjalle matalaan korkeustasoon sijoitettu viemärikaivo voi kansiston ja huonosti tiivistettyjen liitosten kautta vuotaa sisään suuria hulevesimääriä.

Jätevedenpumppaamoilla hulevuotovesiä voi syntyä esimerkiksi väärin toimivien tai rikkiäisten ylivuotoputkien kautta. Ylivuotoputket purkavat usein avo-ojiin tai muihin vesistöihin, joskus myös hulevesiviemäriin tai umpisäiliöihin. Vuotojen estämiseksi purkuputken korkeimman kohdan tulisi olla ylempänä kuin purkukohdan vesipinta korkeimmillaan. Lisäksi putken tulisi viettää kaivosta pois päin. Jätevedenpumppaamot on usein

viettoviemärin rakentamisen mahdollistamiseksi sijoitettu mataliin maastonkohtiin, mikä osaltaan lisää vuotovesimääriä ylivuotoputken toimiessa väärään suuntaan. Mahdolliset hulevesilinjojen purkuputket on usein myös sijoitettu samoihin paikkoihin pumppaamoylivuotojen kanssa, mikä sekin lisää potentiaalista vuotovesimäärää. Ylivuotoputket voivat vuotaa myös irtonaisista liitoksistaan. Tällöin puhutaan kuitenkin varsinaisesta vuotovedestä, ei hulevuotovedestä. (Kurttila 2015)

Pääasialliset syyt viemärin vuotokohtien syntymiselle löytyvät usein verkoston rakennusvaiheesta. Virheelliset toimintatavat, erityisesti asennuksessa tapahtuneet virheet ovat useimmiten syynä viemärin myöhemmälle vuotamiselle (Franz 2007). Tähän voidaan vesihuoltolaitoksilla vaikuttaa henkilöstön koulutuksella ja työmaiden valvonnalla.

### 2.3.3 Vuotovesiin liittyvät tunnusluvut

Vuotoveden määrä verkostossa voidaan laskea vähentämällä jätevedenpuhdistamolle tai pumppaamolle tulevasta jätevesimäärästä tarkasteltavalla alueella laskutettu talousvesimäärä:

$$\text{Vuotovesitilavuus} \left( \frac{m^3}{d} \right) = Q_{tot\ jv} - Q_{tod\ jv}, \quad (2)$$

jossa

$Q_{tot\ jv}$  = keskimääräinen toteutunut jätevesivirtaama tarkastelualueella  $\left( \frac{m^3}{d} \right)$

$Q_{tod\ jv}$  = keskimääräinen laskutettu jätevesivirtaama tarkastelualueella  $\left( \frac{m^3}{d} \right)$ .

Vuotovesien määrä voidaan ilmoittaa myös esimerkiksi sekuntia kohden, ja se voidaan sitoa viemäriverkoston pituuteen. Usein käytetty yksikkö vuotovesien ilmoittamisessa onkin l/s km (Karttunen 2004). Myös l/s ha on joissain julkaisuissa käytetty yksikkö (Weiß et al. 2002). Se kertoo syntyvien vuotovesien määrän verkoston kattamaan pinta-alaan suhteutettuna.

Verkoston vuotavuuden arvioinnissa voidaan käyttää useita tunnuslukuja, joista yleisin lienee vuotovesiprosentti. Vuotovesiprosentti kertoo vuotoveden eli laskuttamattoman jäteveden osuuden kaikesta puhdistettavaksi johdettavasta jätevedestä (Franz 2007). Vuotovesiprosentti voi saada arvon väliltä 0-100 %. Vuotovesiprosentti lasketaan vuotoveden osuutena tarkasteltavalla alueella syntyvästä kokonaisjätevesimäärästä:

$$\text{Vuotovesiprosentti (\%)} = \frac{Q_{tot\ jv} - Q_{tod\ jv}}{Q_{tot\ jv}} * 100, \quad (3)$$

jossa



$Q_{\text{tot jv}}$  = tarkasteltavan alueen vuotovedet sisältävä kokonaisjätevesivirtaama  $\left(\frac{m^3}{a}\right)$

$Q_{\text{tod jv}}$  = tarkasteltavalla alueella laskutetun jäteveden virtaama  $\left(\frac{m^3}{a}\right)$ .

Kiinteistöistä, jotka ovat liittyneet ainoastaan talousvesiverkostoon, johdetaan jätevedet sako- tai umpikaivoihin, tai muihin kiinteistökohtaisiin järjestelmiin. Nämä jätevedet jätetään tarkastelun ulkopuolelle käyttämällä yhtälössä laskutetun talousveden sijaan laskutettua jätevesimäärää. Yhtälössä käytettävä  $Q_{\text{tod jv}}$  on siten se jätevesimäärä, mikä asiakailta todellisuudessa johdetaan vesihuoltolaitoksen viemäriverkostoon.

Vuotovesikerroin  $N_v$  on verkoston tiiviyyttä kuvaava tunnusluku, jota käytetään yleisesti ilmaisemaan viemäriverkoston kuntoa (Karttunen 2004). Vuotovesikerroin lasketaan koko vuoden keskivirtaaman suhteena tarkastelujaksolla olevan neljän perättäisen viikon pienimpään keskivirtaamaan (Siintoharju 2016):

$$\text{Vuotovesikerroin } N_v = \frac{Q_{\text{avg}}}{Q_{\text{min 4 vk}}}, \quad (4)$$

jossa

$Q_{\text{avg}}$  = koko vuoden keskimääräinen jätevesivirtaama  $\left(\frac{m^3}{d}\right)$

$Q_{\text{min 4 vk}}$  = vuoden pienin neljän perättäisen viikon keskimääräinen jätevesivirtaama  $\left(\frac{m^3}{d}\right)$ .

Maksimivuotovesikerroin  $N_{\text{max}}$  kuvaa viemäriverkoston vuotavuutta sen ollessa suurimmillaan. Maksimivuotovesikerroin voidaan laskea jakamalla tarkastelujakson suurin kahdeksan perättäisen viikon keskivirtaama vastaavalla neljän perättäisen viikon keskivirtaamalla, jolloin virtaama on ollut vuoden minimissään (Siintoharju 2016):

$$\text{Maksimivuotovesikerroin } N_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{max 8 vk}}}{Q_{\text{min 4 vk}}}, \quad (5)$$

jossa

$Q_{\text{max 8 vk}}$  = tarkastelujakson suurin kahdeksan perättäisen viikon keskimääräinen virtaama  $\left(\frac{m^3}{d}\right)$

$Q_{\text{min 4 vk}}$  = tarkastelujakson pienin neljän perättäisen viikon keskimääräinen virtaama  $\left(\frac{m^3}{d}\right)$ .

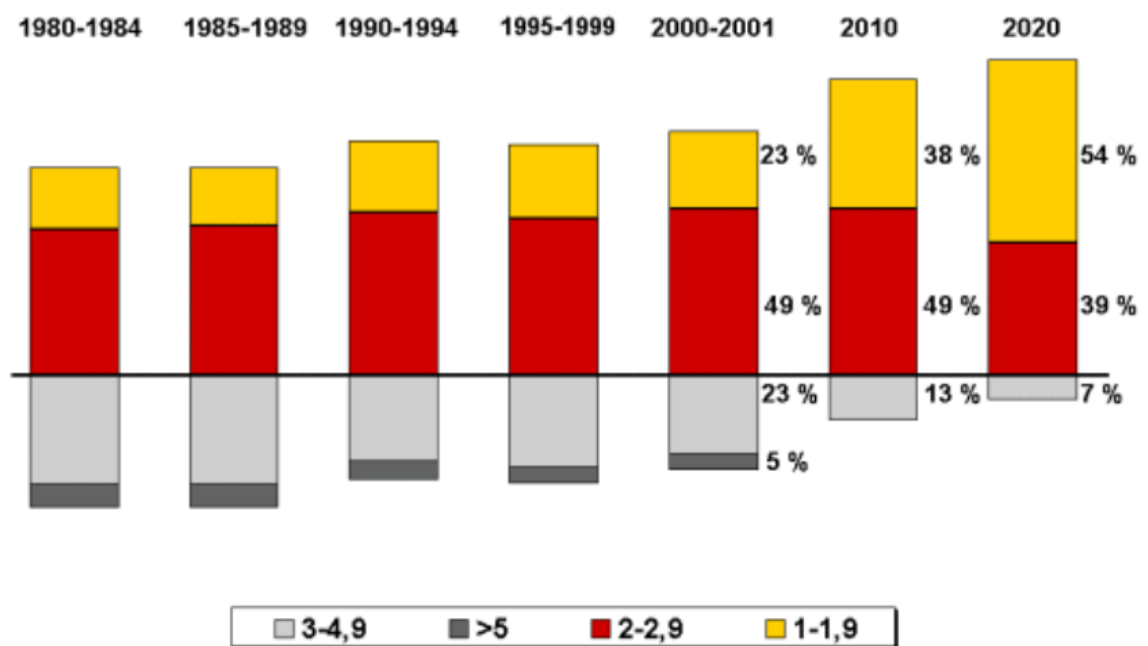
Maksimivuotovesikertoimen ja vuotovesikertoimen laskennassa oletetaan pienimmän neljän viikon aikaisen keskivirtaaman kuvaavan tilannetta, jossa vuotovesiä ei synny, vaan kaikki viemäriverkoston kuljettama vesi on laskutettua jätevettä (Heusala 2005). Todellisuudessa vuotovettä virtaa viemäriin usein jatkuvasti tasaisella virtaamalla, mitä

menetelmä ei huomioi. Ongelma on tunnistettu aikaisemmassa tutkimuksessa (Wittenberg & Aksoy 2010). Lasketut maksimivuotovesikertoimen arvot kuvaavat viemäriverkoston kuntoa Taulukon 1 mukaisesti:

**Taulukko 1. Viemärin kunnon arviointi maksimivuotovesikertoimen arvoilla (Siintoharju 2016)**

<i>Maksimivuotovesikerroin <math>N_{max}</math></i>	<i>Viemärin kuntoarvosana</i>
< 2,0	Hyvä
2,0 - 2,5	Kohtalainen
2,5 - 3,0	Tyydyttävä
> 3,0	Heikko

Suomen ympäristökeskus on kartoittanut suomalaisten vesihuoltolaitoksien vuotovesimääriä Viemäri 2020 -projektissa, johon kerättiin aineistoa vuosilta 1997–2003. Projektissa on asetettu tavoitteeksi pienentää merkittävästi suomalaisten viemäriverkoston maksimivuotovesikertoimia (Kuva 11):



**Kuva 11. Maksimivuotovesikertoimien kehittyminen ja tavoitteet suomalaisissa viemäriverkostoissa (Ympäristökeskus 2017)**

Maksimivuotovesiprosenttien muutokset ovat olleet pieniä vuoteen 2001 saakka (Kuva 11). Tavoitteeksi vuosille 2010 ja 2020 on kuitenkin asetettu kertoimien merkittävä parannus. Esimerkiksi vuonna 2020 enää seitsemällä prosentilla verkostoista tulisi tavoitteen mukaan olla yli kolmen prosentin maksimivuotovesikerroin.

Vuotovesistä kertovien tunnuslukujen vertailussa on syytä muistaa, että alueelliset sekä vuotuiset vaihtelut esimerkiksi lumiolosuhteiden ja sademäärien suhteen ovat suuria. Myös verkoston pituus vaihtelee runsaasti eri kaupunkien ja kuntien viemäriverkostoissa. Tämän vuoksi vuotovesikertoimet eivät joka tilanteessa sovellu suoraan eri paikkakuntien viemäriverkostojen väliseen vertailuun. (Siintoharju 2016)

### 2.3.4 Vuotovesimäärät Suomessa ja maailmalla

Suomalaisissa jätevesiverkostoissa syntyvien vuotovesien määrää on arvioitu Rakennus-  
insinööriliiton (RIL) Rakennetun omaisuuden tila (ROTI) 2017 -raportissa. Raportin mukaan vuotovesiprosentti on vaihdellut 37 ja 47 % välillä vuosina 2010–2014. Luvut koostuvat 68 vesihuoltolaitoksen raportoimista luvuista.

Merkittäviä vuotovesiprosentteja on raportoitu myös Suomen ulkopuolelta. Ruotsissa Karlstadin kaupungin jätevesiverkostossa vuotovesien osuus puhdistamolle saapuvasta jätevedestä oli yli 50 % vuonna 2016 (Hermansson 2016). Ruotsalaisten vesihuoltolaitosten keskimääräisen vuotovesiprosentin on arvioitu olevan 46 % vuonna 2015 (Sola et al. 2018). Arviot vuotovesimääristä vaihtelevat tutkimusmenetelmän ja -ajankohdan mukaan. Ruotsalaisen vesihuollon keskeinen toimija Svenskt Vatten AB on arvioinut vastaavan vuotovesiprosentin olleen 49 % vuonna 2012 (Svenskt Vatten AB 2017).

Norjalaisten viemäriverkostojen vuotovesiprosentin on raportoitu olleen 66 % vuonna 2016, ja tanskalaisten verkostojen noin 30 % (Sola et al. 2018). Alueelliset erot voivat johtua verkoston kunnon lisäksi esimerkiksi vaihtelevista sadeolosuhteista. Tutkimuksissa mukana olleiden vesilaitosten lukumäärät ja sekaviemäröinnin osuus verkostoista on esitetty Taulukossa 2.

Saksassa (Weiß et al. 2002) tutkituissa 34 sekaviemäriverkostossa noin 35 % kaikesta viemäriässä virtaavasta vedestä oli yksinomaan maaperästä tulevaa varsinaista vuotovettä. Syntyvän vuotovesimäärän keskiarvoksi tutkimuksessa saatiin 0,15 l/s ha. Tämän lisäksi verkostoon tuli huomattavia määriä hulevuotovesiä, joiden määrä ei kuitenkaan tässä yhteydessä ole vertailukelpoinen tutkimuksen käsitellessä yksinomaan sekaviemäröintiä. Vuotovesien vuosittainen vaihtelu verkostoissa oli suurta: eri vuodenaikojen välillä vuotovesimäärät jopa kymmenkertaistuivat pienimmistä arvoistaan.

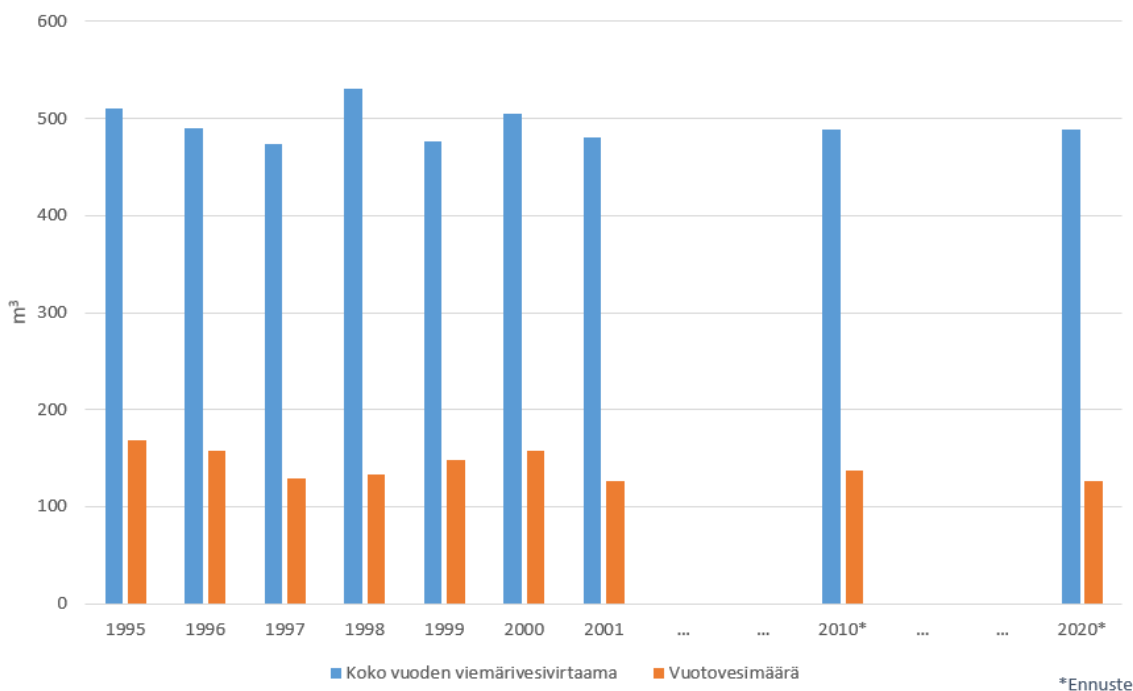
Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös Tšekistä, määritettäessä Prahan kaupungin sekaviemärijärjestelmän vuotovesimääriä (Bareš et al. 2009). Tutkimus toteutettiin mittamalla jäteveden ravinnekuormituksia sekä jätevesivirtaamia, ja saatu vuotovesiprosentti vaihteli 37 ja 53 % välillä.

Edellä ilmoitetut vuotovesiprosentit lähdetutkimuksessa mainittuine lisätietoineen esitellään kootusti Taulukossa 2:

**Taulukko 2. Vuotovesiprosentteja eri maiden vesihuoltolaitoksilta**

	<b>Suomi</b>	<b>Ruotsi</b>	<b>Norja</b>	<b>Tanska</b>	<b>Saksa</b>	<b>Tšekki</b>
<b>Vuotovesiprosentti (%)</b>	37–47	46	66	30	35	37–53
<b>Tutkimuksessa mukana olleet vesihuoltolaitokset (kpl)</b>	68	12	15	10	34	1 (Praha)
<b>Vuosi</b>	2010–2014	2012	2016	2016	2002	2009
<b>Sekaviemäröidyn verkoston osuus (%)</b>	5	15–20	26	n. 50	100	100
<b>Lisätietoa</b>					Ei sis. hulevettä	
<b>Lähde</b>	RIL 2017	Sola et al. 2018	Sola et al. 2018	Sola et al. 2018	Weiß et al. 2002	Bareš et al. 2009

Vuotovesien syntymiseen on viime vuosikymmeninä ryhdytty kiinnittämään entistä enemmän huomiota (Karttunen 2004). Puhdistettavan jäteveden määrä ja puhdistamisen kustannukset halutaan minimoida. Vuotovesimäärät Suomessa ovatkin vähentyneet viimeisen 20 vuoden aikana. Esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa Viemärit 2020 -projektissa mukana olevien viemäriverkoston (428 kpl) piirissä syntyneiden vuotovesien kokonaismääräksi on arvioitu 169 milj. m<sup>3</sup> vuonna 1995 (Suomen ympäristökeskus 2017). Vuonna 2001 lukema oli 127 m<sup>2</sup>. Laskua vesimäärissä on noin 25 %, joskaan muutos ei ole ollut täysin lineaarista (Kuva 12).



**Kuva 12. Viemäri- ja vuotovesimäärät Suomessa 1995–2020 (muokattu lähteestä Suomen ympäristökeskus 2017)**

Ennuste vuotovesitilavuudesta vuodelle 2010 on 137 milj. m<sup>3</sup> (Kuva 12). Arviot kasvavista vuotovesimääristä kertonevat viemäriverkoston laajentumisesta ja vanhenemisesta sekä osaltaan verkostosaneerauksien riittämättömyydestä.

### 2.3.5 Vuotovesien vaikutukset ja suunnittelunäkökohdat

Viemärin vuotovedet aiheuttavat muutoksia jäteveden määrässä sekä laadussa. Vesi-huoltolaitoksille vuotovedet aiheuttavat jätevesien johtamiseen ja käsittelyyn liittyvien kustannusten lisääntymistä. Vuotovedet aiheuttavat kustannuksia niin verkoston investointi- kuin operointivaiheessakin (Franz 2007). Vuotovesien lisääntyminen jätevesiverkostossa lisää suoraan jätevedenpumppaamoilla ja -puhdistamoilla vesien pumppaukseen ja käsittelyyn kuluva energiaa ja muita resursseja, ja siten pienentää jätevesien käsittelyn tehokkuutta (Weiß et al. 2002; Franz, 2007; Karpf et al. 2011; Rödel et al. 2017). Viemäriverkostolle laskettu vuotovesiprosentti kertoo siten paljon jäteveden pumppauksen ja käsittelyn säästöpotentiaalista, sillä lähtökohtaisesti kaikki vuotovesien siirtäminen tai käsittely on tarpeetonta. On varsin yleistä, että puhdistamolle johdettava jätevesi kulkee useamman pumppaamon kautta. Tällöin jokainen pumppauskerta lisää vuotovesien aiheuttamia kustannuksia. Lisääntynyt energiankulutus vaikuttaa myös jäteveden käsittelyn hiilijalanjälkeen, ja voi lisätä huollon tarvetta pumppaamoilla ja puhdistamolla.

Jätevedenpuhdistamoilta vesistöihin purettava käsitelty vesi ei useinkaan ole täysin puhdasta, vaan siihen voi sääntelyn rajoissa jäädä pieniä määriä epäpuhtauksia. Tämä voi

johtaa siihen, että lähtökohtaisesti ravinnekuormitukseltaan alhainen vuotovesi on puhdistamolta ympäristöön purettaessa ravinnepitoisempaa kuin viemäriverkostoon tullessaan (Weiß et al. 2002).

Vesihuoltoverkostoa rakennettaessa vuotovedet tulee ottaa huomioon esimerkiksi viemäriputkien sekä jätevedenpuhdistamoiden ja -pumppaamojen suunnitteluvaiheessa (Yap & Ngien 2017). Putkikokoja tulee kasvattaa siten, että ne riittävät myös vuotovesien johtamiseen. Puhdistamoiden suunnittelussa tulee huomioida paitsi vuotovesien aiheuttama laimentava vaikutus jätevesiin, myös puhdistettavan jäteveden kokonaismäärän kasvu ja siitä aiheutuva ravinnekuormituksen kasvu (Franz 2007; Kaczor et al. 2017; Rödel et al. 2017). On myös osoitettu, että viemäriin päätyvät lumen sulamisvedet voivat laskea puhdistamolle tulevan jäteveden lämpötilaa siinä määrin, että puhdistamon biologinen prosessi hidastuu ja menettää tehoaan (Kaczor & Bugajski 2011). Kapasiteetin mitoituksessa, niin putkien, pumppaamojen kuin puhdistusprosessien osalta, tulee lisäksi varautua vuotovesien aiheuttamiin virtaamanvaihteluihin.

Viemäriin tulviminen on yksi mahdollinen vuotovesien aiheuttama haitta (Ojala 1983; Raynaud et al. 2017). Riski korostuu erityisesti silloin, kun vuotovesien määrä on aliarvioitu verkoston mitoituksessa, maksimivuotovesikertoimen ollessa suuri, sekä poikkeuksellisten sääilmiöiden yhteydessä. Sekaviemärialueilla tulvimisen riski usein korostuu. Esimerkiksi voimakas sadetapahtuma tai lumen nopea sulaminen voi aiheuttaa välityskapasiteetin ylittymisen viemäriverkostossa. Viemäriin tulviminen on aina myös ympäristöriski, sillä tulvimisen yhteydessä jätevettä pääsee usein kulkeutumaan maaperään ja vesistöihin. Puutteellisesti mitoitetuissa sekaviemäreissä puhdistamattomana ylivuotoon virranneiden vesien osuudeksi kaikesta jätevedestä on aikaisemmassa tutkimuksessa saatu jopa 37,5 % (Weiß et al. 2002). Tutkimuksessa käsiteltiin 34 saksalaista sekaviemärijärjestelmää.

Vuotovesien mukana kulkeutuva maa- aines voi pahimmillaan tukkia viemäriin saaden aikaan merkittäviä omaisuusvahinkoja. Putkea ympäröivän maa-aineksen huuhtoutuminen viemäriin voi myös heikentää putken perustusrakennetta lisäten painumien ja muodonmuutoksien esiintyvyyttä (Franz 2007; U.S. EPA 2008). Viemäriin voi tukkia myös vuotokohdista putkeen tai kaivoon tunkeutuvat juuret, jotka estävät jäteveden vapaan virtaamisen verkostossa (Kuva 13).



***Kuva 13. Juuria viemärikaivossa***

Vuotovesien vaikutukset viemäriverkoston ja jätevedenpuhdistamoiden suunnitteluun ja käyttöön on esitetty kootusti Taulukossa 3:

**Taulukko 3. Vuotovesien hättavaikutuksia ja niiden seurauksia jätevesien johtamisen ja käsittelyn suunnittelussa sekä operoinnissa**

Viemäriverkosto	Jätevedenpuhdistamo
Vesimäärien lisääntyminen → putkikokojen kasvattamistarve	Jätevesien laimeneminen → biologisen puhdistusprosessin tehokkuuden lasku
Vesimäärien lisääntyminen → pumppaamojen kapasiteetin kasvattamistarve	Sulamisvesien aiheuttama jäteveden lämpötilan lasku → biologisen puhdistusprosessin hidastuminen
Vesimäärien lisääntyminen → pumppausten energiankulutuksen ja kustannusten kasvu	Jäteveden määrän lisääntyminen → puhdistamon kapasiteetin kasvattaminen
Vesimäärien lisääntyminen → ylivuotoriskin kasvaminen	Virtaamanvaihtelujen kasvaminen → puhdistusprosessin hallinnan vaikeutuminen
Hienoaineksen lisääntyminen verkostossa → putkien kulumisen ja tukkeutumisriskin kasvaminen	Jäteveden määrän lisääntyminen → energiankulutuksen kasvu puhdistamon eri osaprosesseissa
Virtaamanvaihteluiden kasvaminen → putkistomitoituksen vaikeutuminen	

Viemäriverkostoissa vuotovesien aiheuttamat hättavaikutukset vaikuttavat johtuvan pääosan vesimäärien kasvusta, kun taas jätevedenpuhdistamoilla hättavaikutuksissa korostuvat määrän lisäksi myös muutokset veden laadussa (Taulukko 3).

## 2.4 Vuotojen paikallistaminen

Jätevesiverkoston vuotovesien paikallistamiseen on käytössä useita tutkimusmenetelmiä. On tavanomaista, että vuotovesikartoituksessa käytetään useampaa menetelmää, jotta vuotovesien syntymisestä saadaan riittävän tarkka kokonaiskuva (Heusala 2005; Ranta 2016; Yap & Ngien 2017; Sola et al. 2018).

### 2.4.1 Pumppaamotarkastelu

Vuotovesien määrällinen arviointi voidaan tehdä koko viemäriverkoston alueelle esimerkiksi laskemalla edellä mainittuja vuotovesiin liittyviä tunnuslukuja. Vuotovesien vähen-



tämisen kannalta olennaista on tietää, missä verkoston osissa vuotovesiä erityisesti syntyy. Yksityiskohtaisempi kuva vuototilanteesta saadaan pumppaamopiirikohtaisella tarkastelulla. Pumppaamopiirillä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä viettoviemäriverkoston osaa, jota myöten jätevedet johdetaan yhdelle jätevedenpumppaamolle.

Tarkastelussa voidaan käyttää vuotovesiprosenttia tai vuotovesikertoimia. Tarkastelu edellyttää, että tiedetään kyseisten tunnuslukujen laskemisessa käytettävät parametrit; laskutetut ja toteutuneet jätevesivirtaamat. Mikäli laskutettuja vesimääriä ei ole tiedossa, karkeassa arvioinnissa laskutetun jäteveden määränä voidaan käyttää koko verkoston kaikkien asiakkaiden keskikulutusta kerrottuna tarkasteltavan pumppaamopiirin asiakasmäärällä. Toteutuneet jätevesivirtaamat tulee kuitenkin tuntea, mikä edellyttää tietoa jätevedenpumppaamolle tulevan veden virtaamasta. Kun tiedetään pumppaamopiirille ominainen vuotovesiprosentti sekä laskutetun jäteveden määrä, voidaan laskea myös syntyneen vuotoveden määrä. Tunnuslukuja vertailemalla saadaan tietoa siitä, missä verkoston osassa suurimmat vuotopaikat sijaitsevat. (Heusala 2005; Ranta 2016)

## 2.4.2 Savukoe

Hulevuotovesien paikallistamisessa runsaasti käytetty menetelmä on savukoe. Savukokeessa runkoviemäriin syötetään merkkisavua, joka kulkeutuu tonttivilmäriin ja purkautuu lopulta viemäriin tuuletusputkista kiinteistöjen katoilta. Savua purkautuu myös viemärikaivojen kansistojen raoista sekä tulppaamattomista tarkastusputkista. Savukokeella voidaan paikallistaa kohdat, joissa hulevuotovesiä johdetaan viemäriverkostoon luvatta (Franz 2007). Tällaisissa kohteissa savu voi purkautua esimerkiksi rännikaivoista tai salaojakaivoista ja salaojan tarkastusputkista. Savu ei pääse tunkeutumaan vesipatjan läpi, joten esimerkiksi kuivatusputkeen asennettu vesilukko tai notkollaan oleva, vedellä täyttynyt putki voi estää luvattoman liitoksen havaitsemisen. Havaitut vuotokohteet dokumentoidaan kokeen yhteydessä ja ne pyritään korjaamaan. Savukokeella voidaan havaita myös tukkeutuneita tai notkollaan olevia viemäriosuuksia, erityisesti tonttivilmäreitä. (Ranta 2016).

Savun tuottamiseen ja viemäriin syöttämiseen käytetään savukonetta. Käytettävän savun tulee olla vaaratonta ihmiselle. Siitä ei myöskään saa tarttua väriä tai hajua kiinteistöjen sisätiloihin, jonne savu voi päästä kuivuneen vesilukon tai rikkoutuneen viemäriputken kautta. Savukoneissa on usein säätömahdollisuus syötettävän savun paineelle. Tämä mahdollistaa savun syöttämisen runkoviemäriin kautta useampaan tonttijohtoon kerralla, mikä nopeuttaa tutkimuksen tekemistä. Savukokeiden tekemisestä tulee ilmoittaa etukäteen tutkittavan alueen asukkailla sekä pelastuslaitokselle. Näin vähennetään turhia palohälytyksiä sekä savukokeiden aiheuttamaa hämmennystä alueen asukkaissa. (Ranta 2016)

### 2.4.3 Kaivojen kuntoarviointi

Viemärikaivojen vuotavuutta voidaan tarkastella silmämääräisin havainnoin. Kaivosta voidaan nähdä esimerkiksi tulo- tai lähtöputkien läpivienneistä, betonisten kaivonrenkaiden välistä sekä teleskooppiosan saumasta tulevat vuodot. Maa-aineksen kulkeutuminen vuotokohdasta viemäriin aiheuttaa usein vuotokohdan värjäytymisen ruskeaksi. Kaivojen silmämääräisessä tarkastelussa voidaan arvioida myös vesivirtaamia viemärissä (Franz 2007). Esimerkiksi verkostossa jatkuvasti virtaava kirkas vesi voidaan usein tulkita vuotovedeksi. Näiden havaintojen perusteella muita tutkimusmenetelmiä voidaan kohdentaa epäilyihin vuotopaikkoihin. Tarkastuskaivojen silmämääräinen kuntoarviointi on vesi-huoltolaitoksen operatiivisessa toiminnassa usein peruste kaivon saneeraukselle. Kuntoarvioinnissa tehdyt havainnot kirjataan kaivokortteihin (liite A), ja niiden perusteella päätetään jatkotoimenpiteistä. Kaivokortteihin kerätään myös muut kaivon kannalta olennaiset tiedot kuten kaivon halkaisija, kaivoon liitettyjen putkien koot sekä näiden materiaalit. Havainnot olisi syytä myös kuvata, jolloin saneerauksen suunnittelu helpottuu.

### 2.4.4 Virtaamamittaukset

Virtaamamittauksia voidaan tehdä vuotovesimäärien arvioimiseksi. Mittaukset voidaan tehdä joko kiinteillä mittareilla pumppaamojen yhteydessä, tai kannettavalla mittalaitteistolla viemärikaivoissa ja pumppaamoilla. Mitattuja viemäri-vesivirtaamia voidaan verrata esimerkiksi keskimääräiseen vedenkulutukseen, jolloin voidaan arvioida syntyneiden vuotovesien määrää (Franz 2007). Luotettavin vertailukohde mittaustuloksille on mitattavalta alueelta laskutettu, todellinen jätevesimäärä, sillä veden ominaiskulutus vaihtelee kulutuspaikoittain, riippuen esimerkiksi kulutuspaikan tyypistä ja veden kuluttajien määrästä. Esimerkiksi teollisuuslaitoksen kuluttama vesimäärä on usein huomattavasti korkeampi kuin yhden henkilön talouden kuluttama vesimäärä, vaikka molemmat huomioidaan yhtenä kulutuspaikkana (Karttunen 2010).

Myös minimivirtaamien avulla voidaan arvioida vuotovesien määrää, erityisesti varsinainten vuotovesien määrällisessä arvioinnissa. Jos mittauksilla havaitaan pienimmän kulutuksen aikaan, usein yöllä, jatkuvaa tasaista viemäri-vesivirtaamaa, kyseessä on usein maaperästä viemäriverkostoon vuotava vesi (Franz 2007).

Verkostossa mitattuja maksimivirtaamia voidaan verrata lumen sulamiseen ja sadantaan, jolloin saadaan tietoa erityisesti hulevuotovesien muodostumista (Franz 2007). Viemäri-vesivirtaamien on useissa viemäriverkostoissa osoitettu riippuvan sadannasta ja sadetahtuman intensiteetistä (Yap & Ngien 2017)

Määrätyn putkiosuuden vuotovesimäärät voidaan määrittää tarkasti mittaamalla jätevesivirtaama kyseisen putkiosuuden molemmissa päissä samanaikaisesti, ja määrittämällä

päiden välillä lisääntynyt vesimäärä. Menetelmä vaatii kahden virtausmittarin samanaikaista käyttöä. Mitattavalla osuudella ei saa myöskään olla viemäriiliittyjiä, tai niiden tuottama jätevesimäärä on tunnettava.

### 2.4.5 Jäteveden kemiallisen laadun mittaus

Vuotovesien määrää voidaan arvioida mittaamalla jäteveden laatua. Erilaisten laatuominaisuuksien perusteella voidaan päätellä, onko tutkittava vesi jätevettä, vuotovettä vai näiden sekoitus. Tällaisia ominaisuuksia ovat biokemiallinen ja kemiallinen hapenkulutus (Biochemical Oxygen Demand, BOD ja Chemical Oxygen Demand, COD) sekä ammoniumin, orgaanisen hiilen (Total Organic Carbon, TOC) ja erilaisten suolojen kuten kloridin pitoisuudet (Franz 2007) sekä johtokyky (Zhang et al. 2018).

Esimerkiksi jäteveden ravinnepitoisuuden ollessa poikkeuksellisen matala, on usein kysymys vuotovedestä tai vuotoveden laimentamasta jätevedestä. Yhdistettäessä laatuominaisuudet virtaamatietoihin saadaan tietoa mahdollisista vuotovesimääristä. Menetelmää käytetään niin Suomessa kuin maailmallaakin. (Bareš et al. 2009; Zhang et al. 2018; Sola et al. 2018; Vuove- insinöörit Oy 2018)

### 2.4.6 Väriainekoe

Väriainekokeessa voidaan luotettavasti selvittää esimerkiksi hule- tai kuivatusveden kulkeutumisreitti. Väriainekokeessa värjättyä vettä johdetaan tutkittavaan putkilinjaan, ja seurataan veden oletettua purkautumiskohtaa. Tällä tavoin voidaan varmistua esimerkiksi epäillyn hulevesilinjan luvattomasta kytkennästä viemäriverkostoon (Franz 2007). Värjätty vesi viemärikaivossa paljastaa luvattoman liitoksen.

Väriainekoe on varsin luotettava tutkimusmenetelmä, sillä siinä simuloidaan todellista virtaustilannetta putkistossa. Esimerkiksi hulevesilinjaan asennettu vesilukko tai notkolleen oleva putki eivät estä kokeen onnistunutta suoritusta, toisin kuin esimerkiksi savukokeen yhteydessä. Menetelmän haittapuolena on sen hitaus. (Saastamoinen 2015)

### 2.4.7 Viemärikuvaus

Viemäriin CCTV (Closed Circuit Television) -kuvaus on runsaasti käytetty menetelmä maanalaisten putkien kuntotutkimuksessa. Putkistokuvauksessa käytetään kuvausyksiköitä, jotka voidaan varustaa erilaisilla kameralaitteilla. Viemärikuvaus saadaan kuvaa viemäriputkien sisältä, sekä tietoa niiden korkeusasemasta ja sitä kautta painumista sekä kaltevuuksista. Kuvauksella nähdään esimerkiksi putkiston muodonmuutokset, irtolaiset putkiliitokset sekä mahdolliset piilohaarat. Ajettavan kuvausrobotin liikettä kauko-ohjataan maan pinnalta, ja kameran kuvakulmaa voidaan säätää jotta nähdään putken sisäpinta kokonaisuudessaan. Ajettavien kameralaitteiden lisäksi yleisiä ovat putkeen työn-

nettävät kamerat. Niiden kuva on kuitenkin usein heikkolaatuisempaa, johtuen kamera-pään huonosta ohjailtavuudesta. Kuvausyksikkö voidaan varustaa sondilla, joka on mahdollista paikantaa maan pinnalta. Tämä helpottaa tuntemattomien putkilinjojen sijainnin määrittystä. (Duran et al. 2002; Boldan Oy 2018)

Viemärikuvaus on suhteellisen hidas ja kallis tutkimusmenetelmä (Nassiraei et al. 2007). Kuvamateriaali on tulkinnanvaraista, minkä vuoksi osa putkirikoista voi jäädä huomaamatta, ja vastaavasti osa kuvausten perusteella tehdyistä saneerauksista voivat virheellisen tulkinnan vuoksi olla tarpeettomia (Wirahadikusumah et al. 1998). Kuvausyksikön kamerapäättä ohjataan siihen kytketyn kaapelin kautta, mikä voi asettaa rajoitteita kameran liikkuvuudelle. Putkistossa oleva höyry tai putkiston muodonmuutokset voivat myös haitata kuvausta. Kuvauksessa tarvitaan usein kuvausyksikön lisäksi myös imu-huute-luautoa, mikä nostaa menetelmän kustannuksia. Menetelmän heikkouksista huolimatta kuvaus on yleisesti käytössä putkirikkojen havainnoimisessa (Wirahadikusumah et al. 1998; Urpilainen 2017).

Kuvauksen nopeuttamiseksi ja kustannusten alentamiseksi on kehitetty erilaisia ratkaisuja. Esimerkiksi vuonna 2007 alan konferenssissa esitelty, Japanissa kehitetty KAN-TARO - robotti pystyy liikkumaan putkistossa täysin itsenäisesti, ilman ihmisen ohjausta. Langaton robotti selviää vaikeuksista putkien mutkista ja risteyskohdista, ja havaitsee putken vaurioita itsenäisesti (Nassiraei et al. 2007).

## **2.5 Verkoston saneerausvelka ja vuotovesien vähentäminen**

Suomalaisten vesi- ja jätevesiverkostojen arvoksi on ROTI- raportissa (RIL 2017) arvioitu 6,5 miljardia euroa. Raportissa mainitaan vesi- ja viemäriverkoston korjaus- ja korvausinvestointeihin kuluvan Suomessa nykyisin noin 120 miljoonaa euroa vuodessa. Jotta verkostojen korjausvelka ei kasvaisi, verkostoa tulisi saneerata noin 320 miljoonalla eurolla, eli lähes kolminkertaisesti nykytasoon verrattuna. Tavoite vastaa noin 2-3 %:a verkoston kokonaispituudesta ja -arvosta. Nykyisellä saneeraustahdilla korjausvelka kasvaa, mikä aiheuttaa kasvavia korjauspaineita tuleville vuosille. Verkostojen saneeraus on tärkeää vesihuollon toimintavarmuuden, ja vesihuollon piirissä olevien asiakkaiden terveyden ja turvallisuuden vuoksi.

Viemäriverkoston vuotovesiä voidaan vähentää parantamalla verkoston vedenpitävyyttä ja poistamalla pistemäisiä, yksittäisiä vuotolähteitä kuten luvattomia viemärin hulevesiliitoksia (Franz 2007). Useissa tilanteissa jo pienillä korjaustoimenpiteillä voidaan vähentää vuotovesimäärää merkittävästi. Tällaisia ovat esimerkiksi vuotavien pumppaamoyli-vuotojen korjaus, muovisten viemärikaivojen teleskooppiosan uudelleen asennus sekä paloposti- ja vesijohtokaivojen kuivatusputkien siirtäminen pois viemärikaivoista.

Pohjaveden vuotaminen viemäriin esimerkiksi irtonaisten putkiliitosten kautta voidaan korjata kaivamalla johto-osuus auki ja uusimalla vaurioitunut putki. Joissain tapauksissa

korjaus voidaan tehdä myös sujuttamalla. Menetelmässä uusi viemäriputki syötetään kaivoista vanhan sisään. Menetelmä kuitenkin pienentää viemäriputken läpimittaa eikä siten sovellu joka tilanteeseen.

Suomessa kiinteistön hulevesien johtaminen jätevesiviemäriin on kielletty Vesihuoltolaissa (681/2014). Jos jätevesiviemäriin johdetaan luvatta esimerkiksi hulevesiä, liitosten poistamisesta vastaa liittyvän kiinteistön omistaja. Poistaminen tehdään vesihuoltolaitoksen kehotuksesta. Tarvittaessa kyseiseltä asiakkaalta voidaan ryhtyä perimään korotettua jäteveden käyttömaksua, mikäli luvattomia liitoksia ei poisteta. Tällainen käytäntö on esimerkiksi Lempäälän Vedellä (Lempäälän Vesi 2016).

Jos luvattoman hulevesiliitoksen poistaminen on alueen kuivatusolosuhteista johtuen vaikeaa, vesihuoltolaitos voi osallistua ongelman ratkaisemiseen. Esimerkiksi Ruotsissa Karlstadin kaupungin vesihuoltolaitos on maksanut hulevesipumppuja ja -kaivoja tällaisille liittyjille, jotta luvattomat hulevesiliitokset saataisiin poistettua ja viemärin vuotovessimäärää pienennettyä (Beiron 2018). Suomessa vesihuoltolaki (119/2001) sallii kiellostaan poiketen hulevesien johtamisen jätevesiviemäriin alueilla, joiden jätevesiviemäri on rakennettu ennen vuotta 2015 ja se on mitoitettu myös huleveden johtamiseen. Tällaisella alueella ei saa olla hulevesiverkostoa johon kiinteistö voidaan liittää, ja vesihuoltolaitoksen on kyettävä huolehtimaan jätevesiviemäriin johdettavasta hulevedestä. Lain sallima poikkeus mahdollistaa vesihuoltolaitoksen ja kiinteistön omistajan välisen sopimisen poikkeustapauksissa.

### 3. LÄHTÖTIEDOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT

#### 3.1 Vesihuolto Vesilahden kunnan alueella

Vesilahti on Pirkanmaalla sijaitseva kunta, jossa on noin 4500 asukasta (Vesilahden kunta 2018). Asukasmäärän on ennustettu kasvavan hitaasti seuraavan kahden vuosikymmenen aikana (ELY- keskus 2015).

Vesilahden kunta ostaa talousvetensä Lempäälän kunnan vesihuoltoliikelaitokselta sekä Hämeenlinnan Seudun Vesi (HS-Vesi) Oy:ltä (ELY-keskus 2015, Vesilahden kunta 2018). Myös jäteveden suhteen kunnat tekevät yhteistyötä, sillä Vesilahdella syntyvät jätevedet on vuodesta 2008 lähtien pumpattu siirtoviemäriä pitkin Lempäälän jätevedenpuhdistamolle (ELY- keskus 2015). Etäisyydet suhteellisen harvaan asutussa kunnassa ovat melko pitkiä, mikä aiheuttaa myös haasteita alueen vesihuollolle, esimerkiksi verkostojen korkeahkoina rakennuskustannuksina. Ajankohtaisen verkostotiedon mukaan kunnan omistamaa vesijohtoa on noin 72 km ja viettoviemäriä noin 41 km. Kunnan omistamaa paineviemäriä on verkkotietojärjestelmän mukaan noin 31 km. Käytössä olevia jätevesipumppaamoja Vesilahden kunnan omistuksessa on 31 kpl. Lisäksi tulevaisuuden tarpeita varten rakennettuja, mutta toistaiseksi käyttämättömiä jätevesipumppaamoja kunnan alueella on kaksi. Kunnan omistamiin vesihuoltoverkostoihin liittyneitä vesihuolto-osuuskuntia Vesilahdella on kaksi (Tuulikalliontie & Länsi-Narva), ja niiden omistuksessa on kaksi jätevesipumppaamoja (Penttilä & Yli-Arvela).

Vuonna 2017 talousvesiverkostoon liittyneitä kiinteistöjä oli Vesilahdella enemmän kuin jätevesiverkostoon liittyneitä. Myös laskutettu vesimäärä oli talousvedellä suurempi kuin jätevedellä (Taulukko 4).

***Taulukko 4. Talousvesi- ja jätevesiliittyneiden määrät sekä laskutetut vesimäärät Vesilahdella 2017.***

	Jätevesi	Talousvesi
Liittyneiden kiinteistöjen lukumäärä	858	938
Laskutettu vesimäärä (m <sup>3</sup> /a)	107 045	112 875

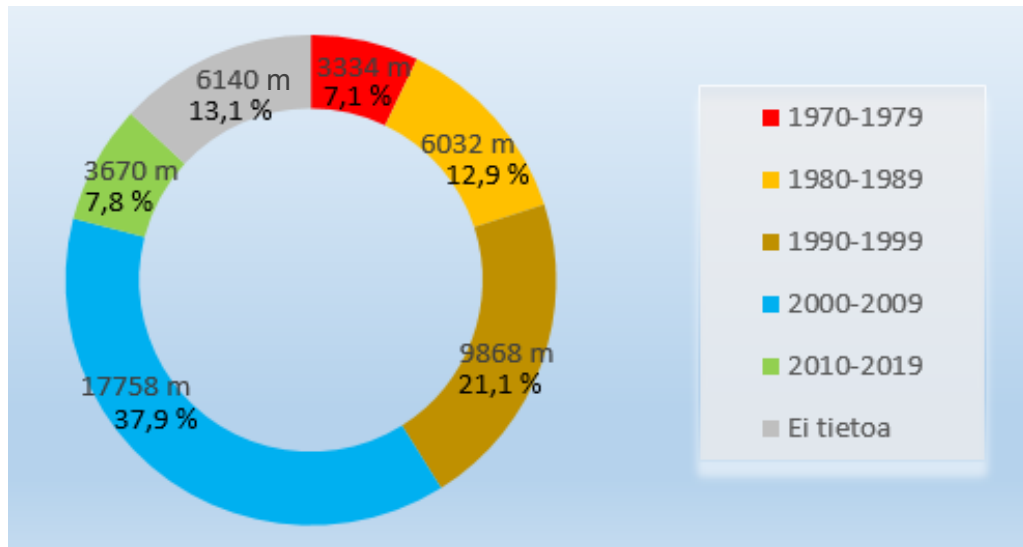
Vuonna 2017 Vesilahdelta johdettiin Lempäälän jätevedenpuhdistamolle jätevesiä yhteensä 189 132 m<sup>3</sup>. Laskuttamattoman jäteveden tilavuus oli siten 82 087 m<sup>3</sup>, ja vuotovesisiprosentti 43,4 %. Jätevesimäärät ovat kasvaneet viime vuosina. Esimerkiksi vuonna 2016 Lempäälään pumpattu kokonaisjätevesimäärä oli noin 135 000 m<sup>3</sup> ja vuonna 2013 noin 122 000 m<sup>3</sup>.

Vuoden 2018 loppuun saakka kunnan omistaman vesihuoltoverkoston operointi on ollut Vesilahden kunnan vesi- ja viemärlaitoksen tehtävänä. Tilanteessa tapahtui muutos vuoden 2019 alussa, jolloin sekä vesi- että viemäriverkoston ylläpitoa ryhdyttiin siirtämään Lempäälän Vesi- liikelaitoksen tehtäväksi. Operointisopimuksen valmistelusta on päätetty niin Vesilahden kunnanvaltuustossa (Vesilahden kunta 2018) kuin Lempäälän Veden johtokunnassa (Lempäälän Vesi 2018). Sopimusluonnoksessa (Pöyry Oyj 2018) määritellään kahden vuoden määräaikainen sopeutumiskausi, jonka aikana operoinnin kustannustasoa tarkennetaan, ja vesihuoltoverkoston kunto pyritään saattamaan samalle tasolle Lempäälän Veden verkoston kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa muun muassa vesimittareiden sekä verkoston automaation uusimista. Sopeutumiskaudella pyritään myös päivittämään asiakassopimukset sekä verkostokartat ajan tasaisiksi, ja luomaan vesijohdoverkoston sulkemissuunnitelma.

Verkostokarttojen päivitystyötä on tehty erityisesti vuosien 2017 ja 2018 aikana, jolloin aineistoa on digitoitu käytössä olevaan verkkotietojärjestelmään. Lisäksi maastossa on tehty runsaasti mittauksia vuosien 2017 ja 2018 aikana. Mittausten ohessa on tehty myös viemäriverkoston kuntokartoitusta, erityisesti viemärikaivojen osalta. Työtä on tehty yhteistyössä Lempäälän Veden kanssa.

### **3.2 Viemäriverkosto**

Vesilahden kunnan omistamasta, noin 72 km:n mittaisesta jätevesiverkostosta 57 % on viettoviemäriä ja 43 % paineviemäriä. Kiinteistöjen omistuksessa olevia tonttviemäreitä Vesilahdella on arviolta 24 km, mikä edustaa merkittävää osuutta verkoston kokonaispituudesta. Vesihuoltolaitoksen viemäriputkissa käytetty materiaali on yksinomaan muovi, pääosin PVC. PE- putkia on käytetty lähinnä paineviemäreissä. Betonisia viemäriputkia kunnan vesihuoltolaitoksen alueella ei ajantasaisen verkostotiedon mukaan ole. Vanhimmat käytössä olevat viemäriverkoston osat on rakennettu 1970- luvun lopulla, ja verkostoa on laajennettu aina 2010 -luvulle saakka (Kuva 14).



**Kuva 14. Viettoviemärin pituudet ja niiden osuudet verkoston kokonaispituudesta Vesilahdella rakennusvuosittain (sis. vesiosuuskunnat)**

Jätevesipumppaamoja Vesilahden omistuksessa on 31 kpl, ja ne ovat pääosin pienehköjä, lasikuitusäiliöllä varustettuja valmiina toimitettuja pakettipumppaamoja. Yhden pumppaamokaivon (Sorri) materiaali on betoni. Vesihuoltolaitoksella on meneillään pumppaamojen automaatiopäivitys, jonka tarkoituksena on saattaa kaikki pumppaamot kaukovalvonnan piiriin. Automaatioprojektin yhteydessä on tehty myös pumppaamojen kuntokartoitusta.

Pumppaamojen ja paineviemäriputkiston muodostama verkosto kuljettaa jätevedet kuvassa 15 esitetyn pumppaamokaavion mukaisesti Kaakilan siirtopumppaamolle ja siitä Lempäälään. Jätevettä pumpataan Vesilahden alueella enimmillään kahdeksan kertaa ennen kuin se saavuttaa Kaakilan siirtopumppaamon (Kuva 15).





### 3.3 Verkostotieto

#### 3.3.1 Verkkotietojärjestelmä

Laki vesihuollon muuttamisesta (681/2014) velvoitti vesihuoltolaitokset saattamaan verkostojensa sijaintitiedot sähköiseen muotoon. Vesilahden kunnan osalta lain asettama vaatimus täyttyy Keypro Oy:n KeyAqua -verkkotietojärjestelmää hyödyntäen. Tietoja on digitoitu vanhoista verkostokartoista, mikä lisäksi verkoston osien sijainteja on mitattu maastossa. Syksyyn 2018 mennessä verkkotietojärjestelmässä oli noin 2200 maastossa mitattua kartoituspistettä. Kartoitusta ja järjestelmän ylläpitoa on tehnyt pääosin Lempäälän Vesi, joka tulee hyödyntämään aineistoa vuonna 2019 alkaneessa operoinnissaan Vesilahden vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella.

#### 3.3.2 Verkstokartoitus

Maastomittauksin toteutettavassa verkstokartoituksessa verkoston osien sijainnit määritetään GPS-laitteella tai takymetrillä. Mittauksista saadut sijaintitiedot siirretään verkkotietojärjestelmään, ja niiden perusteella voidaan piirtää tarkkoja verkstokarttoja. Vesilahdella sijaintitietojen lisäksi maastomittauksissa kerättyä tietoa ovat esimerkiksi venttiilien tyypit, maastoon merkityt vesijohtojen halkaisijatiedot, viemärikaivojen halkaisijat, niiden kuntohavainnot ja materiaalitiedot, viemäriputkien virtaussuunnat sekä muut verkoston kuntoon ja toimintaan liittyvät tiedot. Kartoituksen yhteydessä on mitattu myös viemärikaivojen ja -putkien korkeudet, ja ne on syötetty verkkotietojärjestelmään.

Ajantasaiset ja tarkat verkstokartat helpottavat vesihuoltolaitoksen operointia, ja niiden avulla voidaan esimerkiksi suunnitella saneerauksia tai uusien verksto-osuuksien rakentamista. Nykyaikaisilla verkkotietojärjestelmillä voidaan tehdä myös hydraulista ja hydrologista mallinnusta verkoston toiminnan parantamiseksi, mikäli verkstotieto on ajantasaista ja riittävän yksityiskohtaista. Mallinnusta voidaan käyttää myös uusien verkstojen suunnittelussa. (Karttunen 2010; Ranta 2016)

#### 3.3.3 Aiempi tutkimus

Vesilahdella koko verkoston kattavaa vuotovesitarkastelua ei ole aiemmin tehty. Suppeampia alueita koskevia tutkimuksia on tehty vuosina 2015 ja 2016, jolloin Vesitalkkari Eklöf tutki Anttilan jätevedenpumppaamolle laskevaa Tapolan alueen viettoviemäriä sekä Narvan ja Alholahden alueiden viemäreitä. Tutkimuksissa havaittiin vuotoja erityisesti huonokuntoisten viemärikaivojen yhteydessä. (Vesitalkkari Eklöf 2015) Tapolan alueen vuotaviksi todettuja kaivoja on sittemmin korjattu, mutta Karholan ja Alholahden alueiden osalta suurta muutosta ei ole tapahtunut, vaan havaittuja verkoston vikoja on nähtävissä yhä.

### 3.4 Tutkimusalue

Tutkimusalueena oli Vesilahden kunnan omistama viemäriverkosto kokonaisuudessaan. Lisäksi tutkimukseen sisällytettiin alueen vesiosuuskuntien omistamat viemäriverkostot niiltä osin kun tietoja oli saatavissa.

Halmeen ja Järvenrannan pumppaamopiirit jätettiin vuotovesitarkastelun ulkopuolelle käyttämättömyytensä vuoksi.

### 3.5 Tutkimusmenetelmät

#### 3.5.1 Vuotovesimäärien arviointi jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja hyödyntäen

Vuotovesien kulkeutumisreittien paikantamiseksi on tunnettava, missä verkoston osissa merkittävimmät vuotovesimäärät syntyvät. Tämän vuoksi vuotovesimääriä arvioitiin pumppaamopiirikohtaisesti. Kiinteitä virtaamamittareita pumppaamoilla ei ole, ja virtaaman mittaaminen jokaisella pumppaamolla erikseen olisi kannettavaa mittalaitteistoa käytettäessä huomattavan hidasta. Tämän vuoksi vuotovesien muodostumista ryhdyttiin tutkimaan pumppaamojen sähkönkulutustietojen avulla.

Jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja voidaan hyödyntää pumpattujen vesimäärien arvioinnissa, kun tunnetaan mihin sähköä pumppaamoilla kuluu. Jäteveden pumpauksen energiankulutukseen vaikuttavat pumpattavan jäteveden nostokorkeus, pumpauksen painehäviöt sekä pumppujen hyötysuhde (Karttunen 2010). Pumpauksen energiankulutusta voidaan kuvata yhtälöllä 6:

$$E = \frac{Q \cdot H}{\eta}, \quad (6)$$

jossa

$E$  = pumpun käyttämä energiamäärä, kWh

$Q$  = pumpattava vesimäärä, m<sup>3</sup>

$H$  = kokonaisnostokorkeus, m

$\eta$  = pumpun hyötysuhde.

Pumpun kokonaisnostokorkeus on parametri, joka sisältää pumpun geodeettisen nostokorkeuden sekä pumpauksen painehäviöt.

Pumppaukseen käytettävän energian lisäksi jätevesipumppaamon sähkömittari mittaa myös mahdollisen muun pumppaamolla tapahtuvan sähkönkulutuksen. Tällaista kuluusta voi olla esimerkiksi pumppaamon lämmitys ja valaistus, tai pumppaamon sähkökes-

kuksen pistokkeiden käyttö esimerkiksi huoltojen yhteydessä. Absoluuttisten jätevesivirtaamien laskeminen suoraan sähkönkulutuksien perusteella on epätarkkaa, sillä esimerkiksi kokonaisnostokorkeuden pumppaamokohtainen määrittäminen on vaikeaa.

Sähkönkulutuksien perusteella voidaan laskea pumppaamopiirien prosentuaalisia virtaamanvaihteluita, mikäli sähkönkulutus ja jätevesivirtaama ovat lineaarisesti riippuvaisia toisistaan. Tässä tapauksessa esimerkiksi sähkönkulutuksiin perustuvat maksimivuotovesikertoimet voidaan laskea soveltamalla luvussa 2.3.3 esitettyä yhtälöä 5, käyttämällä virtaamien tilalla vastaavia suurimpia ja pienimpiä sähkönkulutuksia. Myös vuotovesiprosentti voidaan laskea sähkönkulutuksen perusteella, soveltamalla yhtälöä 3. Yhtälöissä virtaamat korvataan sähkönkulutustiedoilla seuraavasti:

$$\text{Maksimivuotovesikerroin } N_{\max} = \frac{E_{\max 8 \text{ vk}}}{E_{\min 4 \text{ vk}}}, \quad (7)$$

jossa

$E_{\max 8 \text{ vk}}$  = tarkastelujakson suurin kahdeksan perättäisen viikon keskimääräinen sähkönkulutus  $\left(\frac{kWh}{d}\right)$

$E_{\min 4 \text{ vk}}$  = tarkastelujakson pienin neljän perättäisen viikon keskimääräinen sähkönkulutus  $\left(\frac{kWh}{d}\right)$ .

$$\text{Vuotovesiprosentti (\%)} = \frac{E_{\text{tot } jv} - E_{\text{tod } jv}}{E_{\text{tot } jv}} * 100, \quad (8)$$

jossa

$E_{\text{tot } jv}$  = tarkasteltavan pumppaamon kokonaissähkönkulutus  $\left(\frac{kWh}{a}\right)$

$E_{\text{tod } jv}$  = laskutetun jäteveden pumppauksen aiheuttama sähkönkulutus  $\left(\frac{kWh}{a}\right)$

Laskutetun jäteveden pumppauksen aiheuttaman sähkönkulutuksen arvioinnissa voidaan käyttää yhtälössä 7 esiintyvää neljän viikon aikaista keskimääräistä minimikulutusta  $\left(\frac{kWh}{d}\right)$  kerrottuna tarkastelujakson päivien määrällä (365).  $E_{\text{tod } jv}$  kuvaa siten teoreettista minimienergiaa, joka riittäisi jäteveden pumppaukseen tilanteessa, jossa vuotovesiä ei oleteta syntyvän lainkaan.

Sähkönkulutuksiin perustuva vuotovesitunnuslukujen laskenta edellyttää, että pumppaamojen jätevesivirtaamat ja sähkönkulutukset korreloivat keskenään, ja sähkönkulutus kasvaa lineaarisesti pumppaamolle tulevan jätevesivirtaaman kasvaessa. Suhteellisessa tarkastelussa pumppaamon nostokorkeudella tai pumpun hyötysuhteella ei ole merkitystä, sillä ne ovat pumppaamoilla muuttumattomat, tulovirtaamasta riippumatta. Hyötysuhteen muuttumattomuus edellyttää, että pumppua käytetään vakioteholla koko tarkastelujakson ajan. Käytännössä pumppu ei siis saisi toimia taajuusmuuttajan kautta.

Tutkimuskohteessa Vesilahdella jätevesipumppaamojen pumput toimivat vakioteholla ja siten teholtaan pumppaamon tulovirtaamasta riippumatta. Ainoastaan pumppaustapahtumien tiheys ja kesto vaihtelevat tulovirtaaman mukaan. Myöskään muu pumppaamolla tapahtuva sähkönkulutus ei vaikuta laskennan tulokseen, mikäli kulutus on jatkuvaa ja tasaista. Tällaista sähkönkulutusta on esimerkiksi mahdollinen pumppaamon sähkökaapin lämmitys, joka toimii Vesilahdella käytettävillä pumppaamoilla vakioteholla ympäri vuoden. Satunnaisen, esimerkiksi huoltojen yhteydessä tapahtuvan sähkönkulutuksen voidaan olettaa olevan niin vähäistä, että se ei merkittävästi vaikuta tuloksiin. Selkeät poikkeustilanteet kuten sähkökatkoksista johtuvat pumppujen pysähtymiset tulee kuitenkin rajata aineistosta pois.

Teoreettisen tarkastelun perusteella pumppujen käytöstä aiheutuvan sähkönkulutuksen voidaan siis olettaa olevan suoraan verrannollinen pumpattuihin vesimääriin. Yhteyttä tutkittiin käytännössä vertaamalla Kaakilan jätevesipumppaamon virtaamadataa sen sähkönkulutustietoihin vuodelta 2017. Kaakila on Vesilahden ainoa pumppaamo, jossa on käytössä magneettinen virtausmittari. Sähkönkulutuksiin perustuva laskentamenetelmää laajennettiin käytettäväksi myös muilla pumppaamoilla, sillä niiden toimintaperiaate on sama kuin Kaakilassa.

Sähkönkulutustietojen perusteella jokaiselle pumppaamopiirille laskettiin vuotovesiprosentti soveltaen luvun 2.3.3 yhtälöitä. Lisäksi verkoston latvapumppaamoille laskettiin maksimivuotovesikertoimet. Luvut eivät ota kantaa absoluuttisiin vuotovesimääriin, sillä ne riippuvat paitsi vuotovesiprosentista, myös pumppaamopiiriin liittyneiden asiakkaiden vedenkulutuksesta. Absoluuttiset vuotovesitilavuudet arvioitiin sähkönkulutustiedoilla lasketun vuotovesiprosentin perusteella, käyttäen laskutettuna vesimääränä ( $Q_{\text{tod jv}}$ ) KeyAquaan syötettyjä vuonna 2017 toteutuneita pumppaamopiirikohtaisia vesilaskutus-tietoja. Laskentatapaa voidaan havainnollistaa seuraavalla esimerkillä:

***Pumppaamopiirille sähkönkulutuksilla laskettu vuotovesiprosentti  $n = 45 \%$***

***Pumppaamopiirin asiakkailta laskutettu vesimäärä  $= 4500 \text{ m}^3$***

***Jäteveden kokonaistilavuus (sis. vuotovedet)  $Q_{\text{tod jv}} = X$***

***Vuotoveden määrä  $Q_{\text{vv}} = 0,45 * X$***

***Jäteveden kokonaistilavuus  $X$  voidaan ratkaista, kun tiedetään vuotovesiprosentti  $n$  ja laskutetun jäteveden määrä  $Q_{\text{tod jv}}$ :***

***$X = Q_{\text{tod jv}} / (1 - (n/100)) = 4500 \text{ m}^3/\text{a} / (1 - (45/100)) = 8181,81 \text{ m}^3/\text{a}$***

***Lopuksi lasketaan vuotoveden määrä  $Q_{\text{vv}}$  edellä mainitun yhtälön mukaisesti:***

***$Q_{\text{vv}} = 0,45 * 8181,81 \text{ m}^3/\text{a} = 3681,82 \text{ m}^3/\text{a}$***

Pumppaamojen ollessa ketjuna siten, että samaa jätevettä pumpataan useampaan kertaan, pumppaamopiirille lasketut tunnusluvut koskevat sitä verkoston osaa kokonaisuudessaan, josta kyseiselle pumppaamolle tulevat jätevedet ovat peräisin. Absoluuttiset jätevesimäärät tällaisille pumppaamopiireille saadaan siten vähentämällä tarkasteltavaa pumppaamoa edeltävältä pumppaamolta lähtenyt vesimäärä pumppaamopiirin koko vaikutusalueen jätevesimäärästä. Myös pumppaamokohtaisten vuotovesiprosenttien laskennassa huomioitiin tarkasteltavaa pumppaamoa edeltävät verkoston osat vähentämällä pumpatusta jätevesimäärästä edeltävältä pumppaamolta pumpattu jätevesimäärä.

Kohdetutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa arvioitiin Vesilahdella syntyvät vuotovesimäärät jokaiselle pumppaamopiirille erikseen. Laskennassa käytetyt sähkönkulutustiedot saatiin Elenia Oy:n Aina -palvelusta, josta ne voi ladata kulutuspaikoittain joko päivä -tai tuntikohtaisesti.

Viidellä pumppaamolla sähkönkulutuksien perusteella tehtävää vuotovesiarviota ei voitu tehdä, sillä sähköä otettiin myös pumppaamon ulkopuolisiin toimintoihin, esimerkiksi ka-tuvaloille. Tällaisilla pumppaamoilla tehtiin virtaamamittauksia kannettavalla mittalait-teistolla vuotovesimäärien arvioimiseksi. Vesiosuuskuntien tuottamat vuotovesimäärät sisällytettiin kunnan omistamien pumppaamopiirien vuotovesiprosentteihin.

Yhdeltä jätevesipumppaamolta (Koskenjoki 1) ei saatu myöskään luotettavaa virtaama-mittaustietoa. Tämä johtui pumppaamopiirin pienen koon aiheuttamasta alhaisesta vie-märivesivirtaamasta. Kyseessä on latvapumppaamo, johon ei tule vesiä muilta pumppaa-moilta. Virtaamamittarin epätarkkuus kasvaa suureksi virtaamien pienentyessä (Labkotec 2018), mikä aiheutti mittaustulosten epäluotettavuuden. Vuotovesilaskennan etene-miseksi tällekin pumppaamopiireille tuli kuitenkin arvioida vuotovesiprosentti. Se tehtiin käyttämällä samaan alueeseen kuuluvien, Tervakallion pumppaamon sähkönkulutustie-doilla laskettua Tervakallion, Koskenjoki 1:n, Koskenjoki 2:n sekä Ylämäen pumppaa-mopiirien keskimääräistä vuotovesiprosenttia (31,5 %). Approksimaation laskentaan ai-heuttama virhe on pieni, sillä tästä pumppaamopiiristä laskutettu jätevesimäärä vastaa ai-noastaan 0,59 %:a kaikesta Vesilahdelta laskutetusta vesimäärästä.

Jokaiselle pumppaamopiirille, pois lukien Koskenjoki 1, määriteltiin siten sille ominainen vuotovesiprosentti joko sähkönkulutustietojen tai virtaamadatan perusteella. Lisäksi han-kittiin vuoden 2017 vesilaskutustiedot jokaisen pumppaamopiirin alueelta, jotta saatiin selville laskutettujen jätevesimäärien tilavuudet. Laskutustiedot saatiin KeyAqua- jär-jes-telmästä. Vuotovesiprosentin ja vesilaskutustiedon perusteella laskettiin kunkin pump-paamopiirin tuottama kokonaisjätevesimäärä sekä vuotovesimäärä.

### 3.5.2 Sähkönkulutuksen ja sademäärän yhteys

Hulevuotovesien muodostumisen arvioinnissa sähkönkulutustietoja verrattiin alueelta saatuihin sadantatietoihin. Sadantatiedot tilattiin Ilmatieteen laitoksen säähavaintopalve-

lusta. Tiedot perustuvat Ikaalisissa sijaitsevan sadetutkan havaintoihin. Aineiston pohjalta laskettiin päiväkohtaisen sähkönkulutuksen ja sademäärän lineaarisen korrelaatiokertoimen arvo pumppaamopiireittäin. Alueilla, joissa korrelaatiokerroin ja vuotovesiprosentti on suuri, voidaan olettaa muodostuvan runsaasti erityisesti sadannan aiheuttamaa vuotovettä. Tietojen perusteella tällaisille alueille voidaan tarvittaessa kohdentaa lisätutkimuksia.

Sademääriin perustuva tarkastelu tehtiin ainoastaan verkoston latvapumppaamoille. Tällaisilla pumppaamoilla sadannan vaikutus sähkönkulutukseen voidaan nähdä luotettavasti, sillä pumppaamolta lähtevää vettä ole pumpattu aikaisemmilla pumppaamoilla. Ketjussa oleville linjapumppaamoille menetelmää ei voida soveltaa, sillä niiden sähkönkulutuskäyrissä näkyy myös aiempien pumppaamopiirien vaikutus. Myöskään maksimivuotovesikerrointa ei voitu laskea tällaisille pumppaamoille, vaan tunnusluku laskettiin ainoastaan latvapumppaamoille.

### 3.5.3 Vuotojen paikallistaminen

Kohdetutkimuksen toisen vaiheen tavoitteena oli selvittää, mitä kautta vuotovedet tulevat viemäriverkostoon. Työssä käytettiin savukokeita, kaivojen kuntotarkastuksia ja viemärikuvauskuja. Tutkimukset pyrittiin kohdentamaan alueille, joissa vuotovesiä arvioitiin syntyvän runsaimmin.

Vuotojen paikallistamisessa tehdyt havainnot koottiin yhteen ja luokiteltiin järjestykseen saneeraustarpeen perusteella. Tämän luokituksen pohjalta voitiin luoda korjausohjelma havaittujen vikojen korjaamiseksi.

### 3.5.4 Kaivotutkimukset

Tutkimusta varten kerättiin kuntohavaintoja Vesilahden alueen viemärikaivoista kesän ja syksyn 2018 aikana. Kaivojen kuntokartoitusta tehtiin samalla, kun kartoitettiin verkostoa KeyAqua -järjestelmään. Vuoden 2018 aikana käytiin läpi noin 530 viemärin tarkastuskaivoa ja -putkea. Lisäksi tähän tutkimukseen sisällytettiin noin 270 viemärikaivoa, jotka Lempäälän Veden henkilöstö on tarkastanut vuonna 2017. Yhteensä tarkastettuja viemärikaivoja on siis noin 800 kpl, joka vastaa 78 % kaikista Vesilahden kunnan omistamista viemärikaivoista. 144 kaivon kunnossa havaittiin puutteita. Puutteellisista kaivoista tehdyt kuntohavainnot koostettiin taulukoksi. Ehjistä ja hyväkuntoisista kaivoista havaintoja ei kirjattu.

Noin 220 kaivoa jäi tarkastamatta ja kartoittamatta, mikä johtuu pääosin siitä, että niitä ei löydetty. Tällaisia kaivoja on erityisesti Koskenkylä- Narva -akselilla, jossa kaivoja on runsaasti pellossa kyntösyvyyden alapuolella. Joitakin kaivoja oli myös asfalttipäällysteen alla. Kartoittamattomista kaivoista noin 40 sijaitsee tutkimusalueen ulkopuolella.

Halmeen ja Järvenrannan pumppaamopiireissä. Tutkimuksessa tarkastetut kaivot pääsääntöisesti kuvattiin, ja kuvat ladattiin KeyAqua -järjestelmään.

### **3.5.5 Savukokeet**

Savukokeita suoritettiin kuudessa pumppaamopiirissä. Savukokein tutkittiin noin 320 liittymispaikkaa, mikä vastaa 37,3 % kaikista Vesilahden viemäriliittymistä. Savukokeissa käytettiin Ehle-HD:n Fog Smoker- savukonetta. Savukokeissa saadut havainnot raportoitii tämän tutkimuksen lisäksi erilliseen savukoeraporttiin.

Savukokeista ilmoitettiin tutkittavan alueen asukkaille sekä pelastusviranomaisille viimeistään kaksi vuorokautta ennen tutkimuksen tekemistä.

### **3.5.6 Virtaamamittaukset**

Virtaamamittausten perusteella määritettiin vuotovesiprosentti 4 pumppaamopiirille (Kielorinne, Hovi, Koskenkylä 2, Koskenjoki 2). Virtaamamittausten tarkoituksena oli selvittää niiden pumppaamopiirien vuotovesimäärät, joihin sähkönkulutusten perusteella tehtävää vuotovesitarkastelua ei voitu soveltaa.

Mittaus tehtiin olosuhteiden mukaan joko pumppaamojen tai etukaivojen tuloputkista. Virtaamamittaukset tehtiin Nivus Pro PCM4 -mallisella kannettavalla virtausmittarilla, ja mittaustulokset käsiteltiin Microsoft Excelissä. Mittausaika kullakin pumppaamolla vaihteli viidestä yhdeksään päivään.

### **3.5.7 Viemärikuvaukset**

Viemärikuvauksilla pyrittiin paikantamaan vuotopaikkoja, jotka eivät kaivojen tarkastusten ja savukokeiden myötä selvinneet. Viemärikuvauksia teetettiin tutkimusta varten alan yrityksellä noin 900 m. Kuvauksessa käytetty kameramalli oli Minicam Proteus. Kuvaukset pyrittiin kohdentamaan alueille, joilta arvioitiin tulevan runsaita vuotoja. Kuvausten avulla saatiin myös tietoa aiemmin tuntemattomien viemäriinjojen ja -kaivojen sijainnista. Kuvaukset teetettiin Karholan, Alholahden sekä Heikkilän pumppaamopiireissä. Kuvauksissa tehdyt havainnot toimitettiin kirjallisena raporttina luokiteltuna standardin SFS-EN 13508-2 mukaisesti. Kyseisessä standardissa määritellään sekä luokitellaan vikakoodeihin erilaiset viemärikuvauksissa havaittavissa olevat vikatyypit (Suomen standardisoimisliitto SFS 2011).

Lisäksi kuvauksia tehtiin noin 200 m matkalla Lempäälän Veden kannettavalla minCam-viemärikuvauslaitteistolla (Kuva 16). Kameralla pystytään havaitsemaan esimerkiksi irrallaan olevia putkiliitoksia, putkiin tunkeutuneita juuria ja viemäriputken muodonmuutoksia.



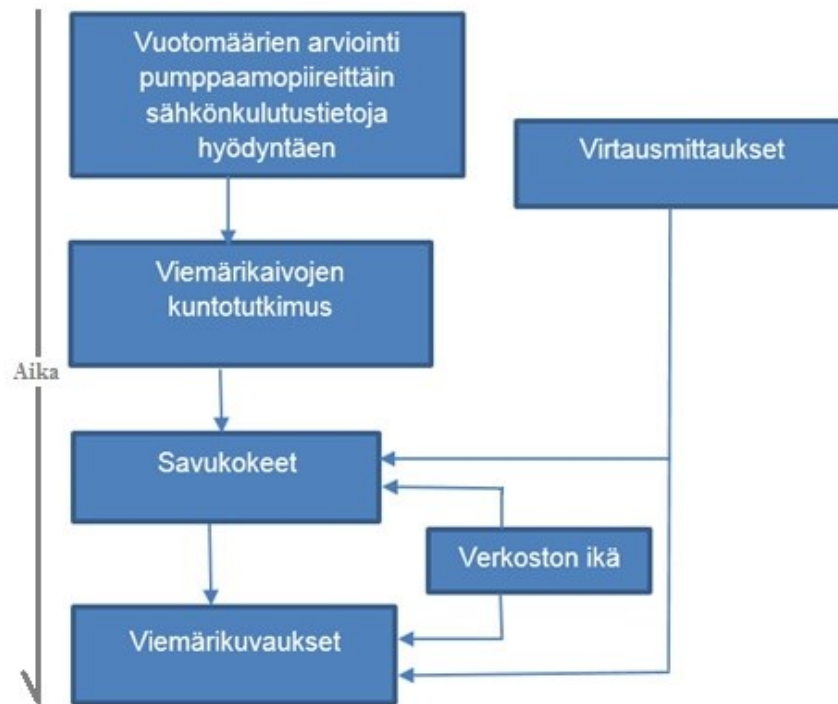


**Kuva 16. Viemärin kuvauksessa käytetty kannettava MinCam -kuvauslaitteisto**

Kuvan 16 laite soveltuu lähinnä lyhyiden, alle 50 m pitkien viemäriosuuksien kuvaamiseen, eikä sillä voida määrittää esimerkiksi viemärin korkeusasemaa tai painumaa. Kamera työnnetään putkeen kaapelistaan, eikä kamerapään asentoa voi ohjailla. Joissain tapauksissa kuvanlaatua heikensi putkistossa seisova tai virtaava vesi. Kuvatut kohteet olivat pääosin pumppaamojen ylivuotoputkia.

### 3.5.8 Tutkimusten eteneminen

Tutkimukset pyrittiin toteuttamaan järjestyksessä siten, että ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin vuotovesien kannalta merkittävimmät pumppaamopiirit. Tämä tehtiin sähkönkulutustietojen ja virtaamamittausten perusteella. Havaintojen perusteella suunniteltiin tutkimuksen toinen vaihe, jossa havaitut vuodot pyrittiin paikallistamaan. Tutkimusvaiheet menivät osittain päällekkäin, ja esimerkiksi virtausmittauksia tehtiin läpi koko tutkimusajan. Mittausaika pyrittiin maksimoimaan tulosten tarkkuuden parantamiseksi. Myös kaivotutkimuksia tehtiin kartoitustyön yhteydessä jo ennen varsinaisen vuotovesitutkimuksen alkamista. Savukokeiden ja viemärikuvausten paikat pyrittiin määrittämään vuotovesien määrällisen arvion ja kaivojen kuntotutkimusten perusteella. Myös verkoston ikä vaikutti siihen, millä alueilla savukokeet ja viemärikuvaukset tehtiin (Kaavio 1).



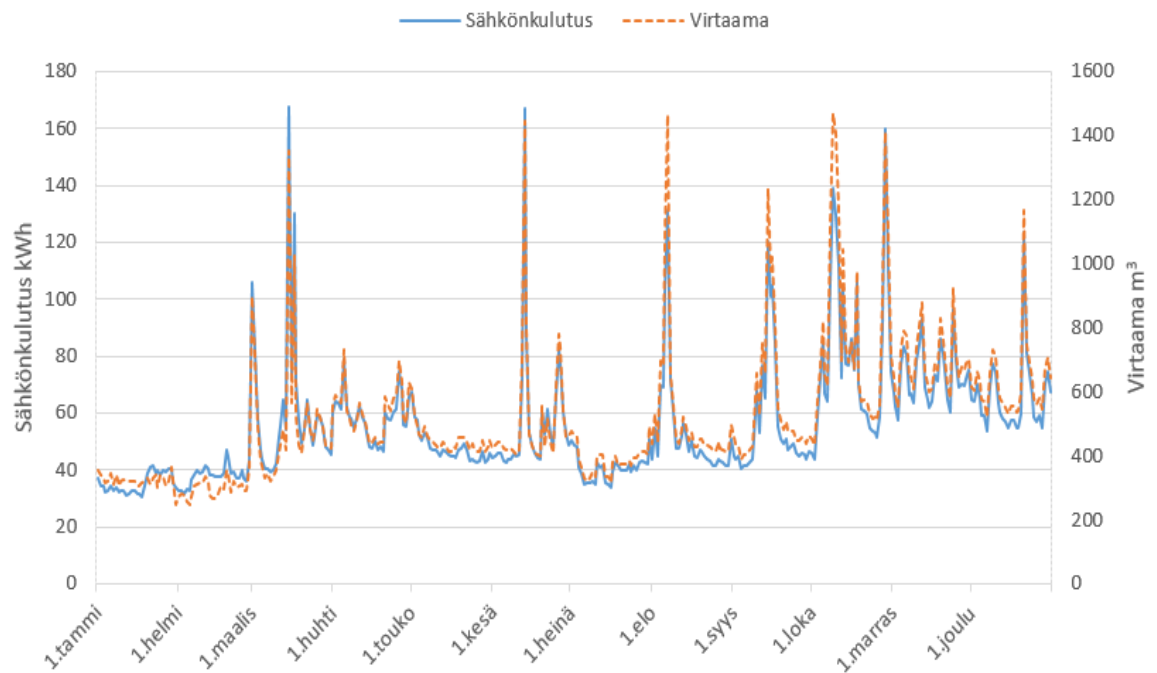
***Kaavio 1. Vuotovesitutkimuksen vaiheistaminen***

Kaavion 1 nuolet kuvaavat tutkimuksen edetessä lisääntyvää verkostotietoa, joka vaikuttaa seuraavan tutkimusmenetelmän valintaan ja erityisesti tutkimusten kohdentamiseen verkostossa.

## 4. TULOKSET

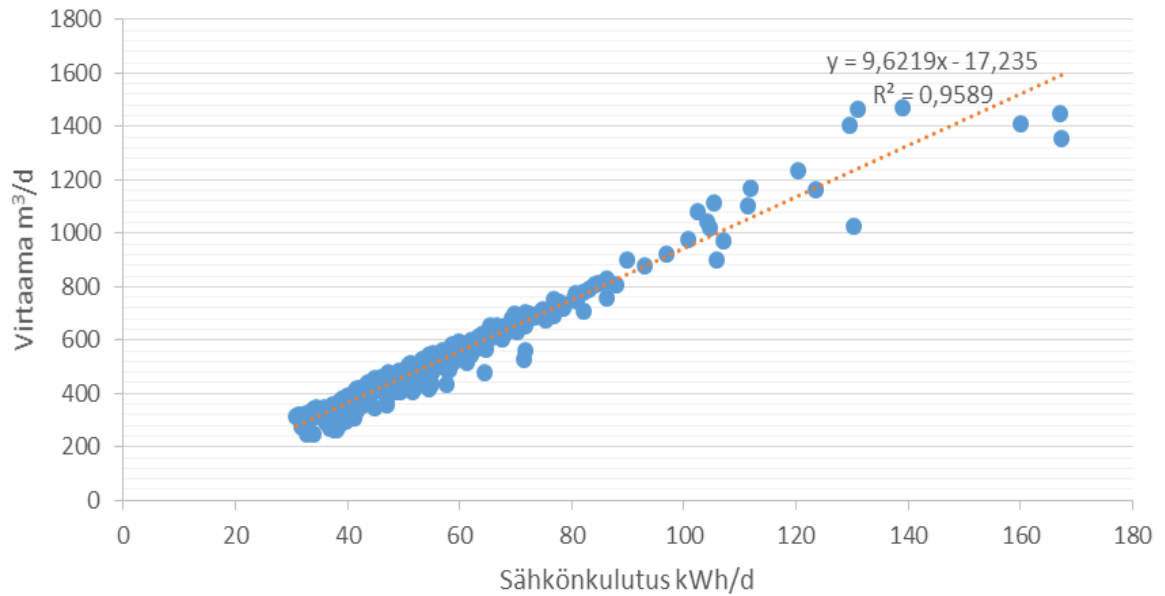
### 4.1 Sähkönkulutus jätevesivirtaaman indikaattorina

Jätevesipumppaamojen sähkönkulutuksen ja jätevesivirtaaman välistä yhteyttä tutkittiin vertaamalla Kaakilan siirtopumppaamon sähkönkulutus- ja virtaamatietoja toisiinsa, ja etsimällä muuttujien välistä korrelaatiota. Pumppaamon päiväkohtainen sähkönkulutus ja jätevesivirtaama vuodelta 2017 ovat lineaarisesti toisistaan riippuvia (Kuva 17).



**Kuva 17. Kaakilan jätevesipumppaamon sähkönkulutus ja jätevesivirtaama vuonna 2017**

Sähkönkulutuksen ja jätevesivirtaaman välistä lineaarista riippuvuutta kuvaava korrelaatiokerroin  $R$  on 0,98. Muuttujien välisen riippuvuuden havainnollistamiseksi tehtiin lineaarinen regressioanalyysi (Kuva 18).

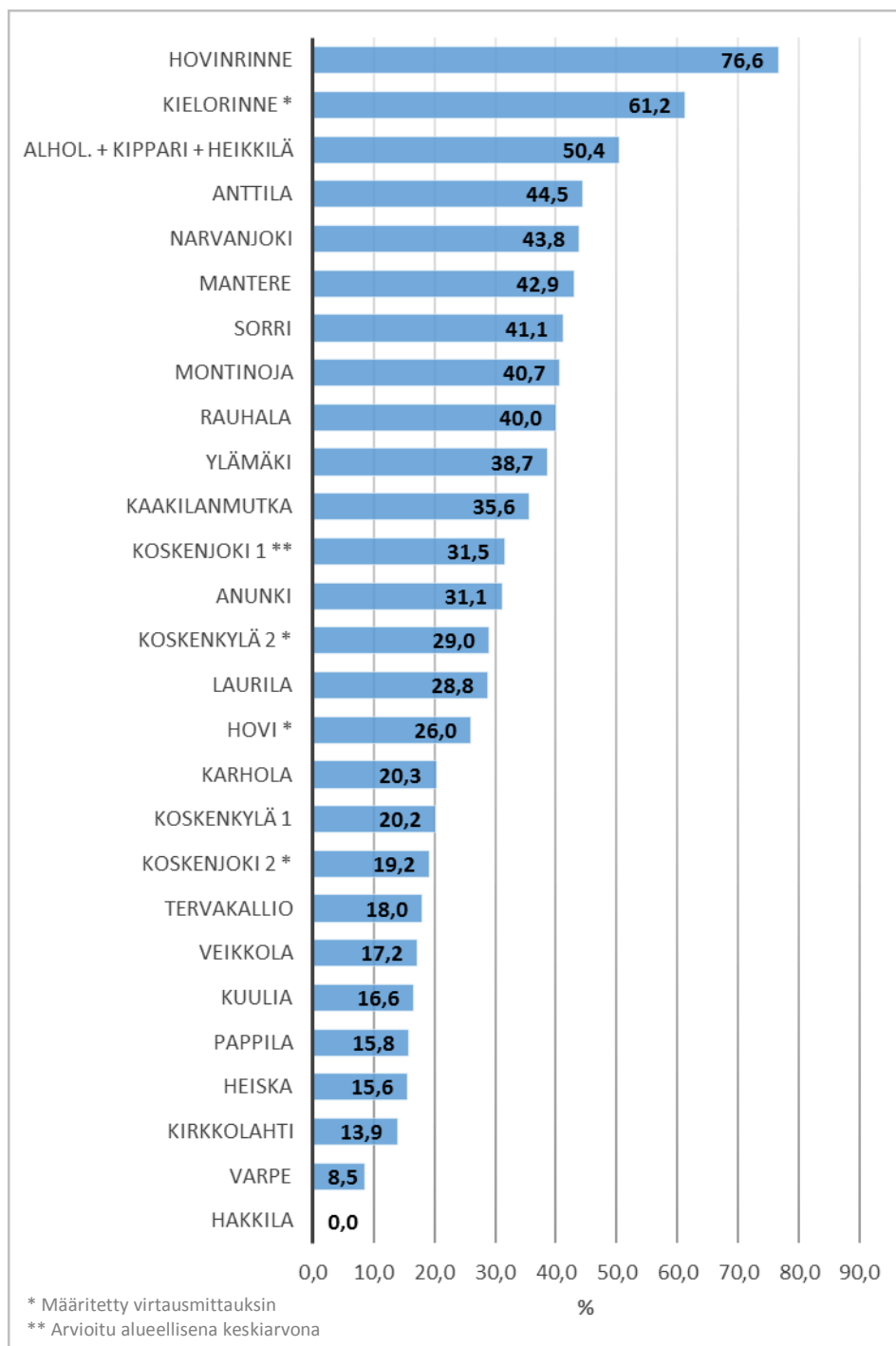


**Kuva 18. Päiväkohtaisen jätevesivirtaaman ja sähkönkulutuksen välinen lineaarinen riippuvuus Kaakilan jätevesipumppaamolla vuonna 2017**

Sähkönkulutus ja jätevesivirtaama ovat vahvasti toisiinsa sidoksissa regressiomallin korrelaatiokertoimen  $R$  ollessa 0,98 ja selitysasteen  $R^2$  0,96. Virtaaman vaihtelulla voidaan siis selittää 96 % sähkönkulutuksen varianssista. Ainoastaan suurimpien virtaamien aikaan sähkönkulutuksen arvoissa on enemmän hajontaa.

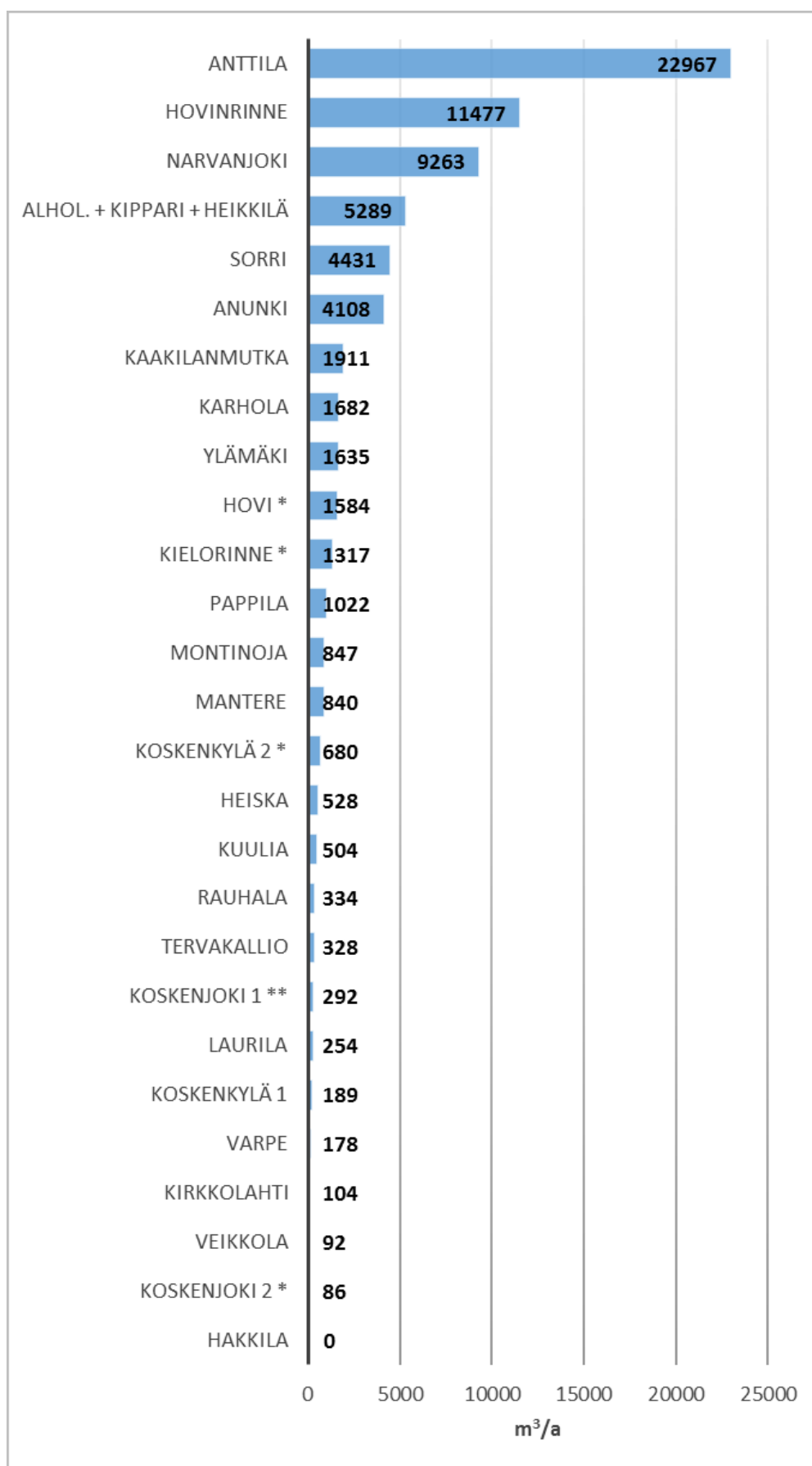
## 4.2 Verkoston vuotovesitarkastelu

Jätevesipumppaamojen sähkönkulutusdatan sekä vesilaskutustietojen perusteella laskettiin vuotovesiprosentit 27 alueelle yhtälön 8 mukaisesti. Pumppaamoilla, joilla luotettavia sähkönkulutustietoja ei ollut saatavilla, vuotovesiarvio tehtiin kannettavaa virtausmittaria käyttäen. Korkeimmat alueittaiset vuotovesiprosentit ovat Hovinrinteen, Kielorinteen, Alholahden & Kipparin & Heikkilän sekä Anttilan alueilla (Kuva 19). Kaakilan pumppaamopiirille ei tehty erillistä vuotovesitarkastelua johtuen sen erityisen pienestä koosta. Sen sijaan alue käsiteltiin kokonaisuutena Anttilan pumppaamopiirin kanssa. Näiden pumppaamopiirien muodostamalta alueelta tulevat vuotovedet syntyvät lähes kokonaan Anttilan pumppaamopiirissä. Myös Alholahden, Kipparin ja Heikkilän pumppaamopiirit käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena johtuen niiden roolista suurina linjapumppaamoina. Näiden pumppaamopiirien osalta vuodot jakautuvat kuitenkin tasaisemmin.



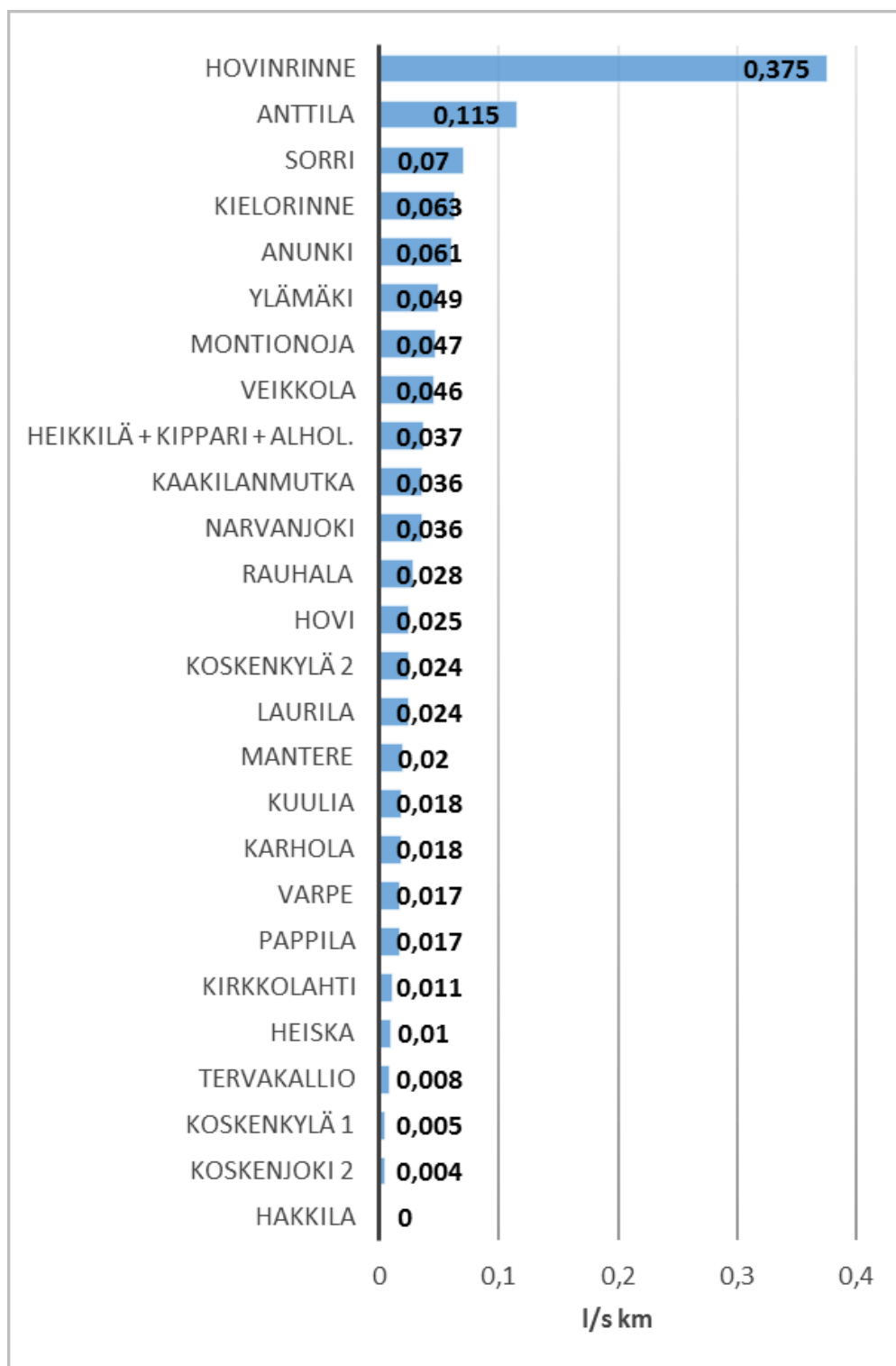
**Kuva 19. Sähkönkulutustietojen ja virtaamamittausten perusteella lasketut alueittaiset vuotovesiprosentit 2017**

Vuotovesiprosenttien lisäksi laskettiin alueittaiset vuotovesimäärät. Laskenta tehtiin kuvassa 19 esitettyjä vuotovesiprosentteja sekä KeyAquasta saatuja vesilaskutustietoja käyttäen, luvussa 3.5.1 esitetyn laskentaesimerkin mukaisesti. Vuotovesimäärät ovat suurimpia Anttilan, Hovinrinteen, Narvanjoen sekä Alholahden & Kipparin & Heikkilän pumppaamopiirien muodostamilla alueilla (Kuva 20).



**Kuva 20. Aluekohtaiset vuotovesimäärät Vesilahdella 2017**

Alueiden välisiä vuotavuuseroja vertailtiin suhteuttamalla vuotomäärät verkostopituuteen. Verkostopituuteensa suhteutettuna runsaimmin vuotavia alueita ovat Hovinrinne sekä Anttila. Näillä alueilla vuotavuus ylittää 0,100 l/s km (Kuva 21).



**Kuva 21. Alueittaiset keskimääräiset vuotovesivirtaamat verkoston pituuteen suhteutettuna vuonna 2017**

Hulevuotovesien muodostumisen kuvaamiseksi latvapumppaamojen sähkönkulutusta verrattiin Ilmatieteen laitoksen sadetutkahavaintoihin. Tämä tehtiin laskemalla vuoden 2017 päiväkohtaisen sademäärän ja sähkönkulutuksen välinen korrelaatiokerroin jokaiselle tarkasteltavalle pumppaamopiirille. Lisäksi sähkönkulutustietojen perusteella laskettiin maksimivuotovesikertoimet (Taulukko 5). Sadanta vaikuttaa lisäävän sähkönkulutusta erityisesti Karholan, Hovinrinteen, Sorrin ja Heiskan pumppaamopiireissä. Maksimivuotovesikertoimen arvo on yli 2 Rauhalan, Ylämäen, Hovinrinteen ja Sorrin pumppaamopiireissä. Koskenjoki 1:n ja Kielorinteen sähkönkulutustiedot eivät olleet käyttökelpoisia; niiden kohdalla tiedot puuttuvat.

**Taulukko 5. Sähkönkulutuksen ja sadannan väliset korrelaatiokertoimet sekä sähkönkulutustietojen avulla lasketut maksimivuotovesikertoimet verkoston latvapumppaamoilla vuonna 2017**

Pumppaamopiiri	Sähkönkulutuksen ja sadannan välinen korrelaatiokerroin	Maksimivuotovesikerroin $N_{\max}$
Rauhala	0,08	2,60
Laurila	0,07	1,68
Ylämäki	0,16	2,76
Koskenjoki 1	-	-
Karhola	0,34	1,60
Veikkola	-0,03	1,52
Kielorinne	-	-
Hovinrinne	0,33	11,80
Pappila	0,13	1,36
Sorri	0,41	2,43
Heiska	0,32	1,56
Kirkkolahti	-0,11	1,25
Kuulia	0,24	1,35
Varpe	0,08	1,25

Tutkimusalueella tarkastettiin viemärikaivoja vuotovesilähteiden paikantamiseksi. 144 kaivon kunnossa havaittiin puutteita (Taulukko 6). Lukumäärällisesti eniten huonokuntoisia kaivoja on Anttilan pumppaamopiirissä, joka on kaivojen lukumäärällä, verkoston pituudella ja jätevesiliittyjien määrällä mitattuna verkoston suurin pumppaamopiiri. Taulukossa ilmoitettu viettoviemärin 2D-pituus tarkoittaa tasossa mitattua, kaltevuuksia huomioimatonta putkijohtojen yhteispituutta.



**Taulukko 6. Pumppaamopiirien koot vuonna 2017 ja tehdyt kaivohavainnot 2017-2018**

<b>Pumppaamopiiri</b>	<b>Jätevesi-liittyjiä (kpl)</b>	<b>Viettoviemärin 2D-pituus (m)</b>	<b>Kaivoja tarkastettu</b>	<b>Kaivoja, joiden kunnosta kirjattu huomautettavaa</b>
Rauhala	6	380	7/7	1
Laurila	7	333	6/7	0
Mantere	16	1323	25/25	4
Hakkila	1	370	8/8	1
Koskenkylä 1	9	1150	14/20	1
Koskenkylä 2	14	880	14/18	3
Ylämäki	18	1063	21/23	5
Halme	0	385	5/15	0
Koskenjoki 1	6	168	7/7	0
Koskenjoki 2	7	683	15/19	3
Tervakallio	20	1256	25/32	11
Montionoja	10	575	12/16	4
Heikkilä	9	1096	8/24	4
Karhola	52	2984	45/47	7
Narvanjoki	68	3168	63/67	13
Kippari	29	439	13/16	1
Penttilä & Yli-Arvela	Ei tietoa	5092	44/74	1
Alholahti	21	3044	22/55	6
Järvenranta	0	1588	0/32	0
Veikkola	2	63	2/2	0
Kielorinne	6	664	19/20	0
Hovi	35	2009	46/47	3
Hovinrinne	26	970	24/27	11
Anunki	68	2131	51/55	3
Pappila	40	1901	44/46	3
Sorri	47	2021	39/45	14
Heiska	27	1631	39/48	3
Kirkkolahti	7	294	1/10	0
Kuulia	22	879	21/24	4
Anttila	186	6247	115/132	31
Varpe	16	330	8/8	0
Kaakilanmutka	27	1698	44/44	7
Kaakila	11	88	1/2	1

Kaivotutkimuksissa havaitut viat luokiteltiin 13 vikatyyppiin. Yleisin vika on muovikaivon vino, irronnut tai muotoaan muuttanut teleskooppiosa, joka havaittiin 49 kaivossa. Muita yleisiä, yli 20 kaivossa havaittuja vikatyyppejä ovat betonikaivon renkaiden välistä tuleva vuoto, kaivossa oleva tukkeuma tai kertymä sekä kaivon putkiliitoksista tuleva vuoto (Taulukko 7).

***Taulukko 7. Viemärikaivoissa havaittujen vikojen lukumäärät vikatyypeittäin***

<b>Vian kuvaus</b>	<b>Havaintojen lukumäärä (kpl)</b>	<b>Osuus kaikista havainnoista (%)</b>
Teleskooppi vinossa, irti tai muuttanut muotoaan	49	26,6
Vuotoa betonikaivon renkaiden välistä	33	17,9
Kaivossa tukkeumaa tai kertymää	29	15,8
Vuotoa kaivon putkiliitoksista	22	12,0
Vuotoa kansiston kautta/kansistossa korjattavaa	19	10,3
Juuria kaivossa	10	5,4
Kaivon pohjasauma vuotaa	5	2,7
Vuotoa ylivuotoputken kautta	5	2,7
Viemäriin liitetty kuivatusputki	4	2,2
Haurastunut betonikaivo, ei havaittavaa vuotoa	3	1,6
Kaivo asfaltin alla	3	1,6
Muodonmuutos muovikaivon rungossa	1	0,5
Muu vika	1 (ohut peitesyvyys)	0,5

Savukokeissa tehdyt havainnot jaettiin 6 vikatyyppiin. Yleisimmät havainnot koskevat kaivosta tai tonttijohdosta tulevaa vuotoa ja savun purkautumista epätyypillisestä paikasta. Kuivatusvesiä havaittiin johdettavan sakokaivon kautta viemäriin kolmessa kohteessa (Taulukko 8).

**Taulukko 8. Viemäriverkostosta savukokein tehdyt havainnot**

Havainto	Havaintojen lukumäärä (kpl)
Kaivosta tai tonttijohdosta tuleva vuoto	9
Savu purkautui epätyypillisestä paikasta, ei varmistettua vuotoa	6
Tulppaamaton, mahdollisesti vuotava tarkastusputki	4
Kuivatusvesiä sakokaivon kautta viemäriin	3
Viemäri linja tukossa tai notkolla	3
Jätevedet johdettu viemäriin verkkotietojärjestelmän mukaan liittymättömältä kiinteistöltä	1

Viemärikuvauksissa tehdyt havainnot jaettiin neljään vikatyyppiin. Yleisin vikatyyppi on putkiston muodonmuutos. Runsaimmin vuotovesiä tuottavia, standardin SFS-EN 13508-2 mukaisia 4. luokan vuotoja havaittiin 5 kpl (Taulukko 9).

**Taulukko 9. Viemärikuvauksissa havaitut viat ja niiden esiintyvyys**

Vian kuvaus	Vikaluokitus (1-4) Standardin SFS-EN 13508-2 mukaisesti	Havaintojen lukumäärä
Muodonmuutos	1	13
	2	4
	3	3
Painuma/heikko kaato	1	3
	2	4
	3	4
	4	6
Vuoto	1	8
	2	5
	3	1
	4	5
Saostuma	3	1

Lukumääräisesti eniten vikahavaintoja tehtiin Karholan kuvausalueelta. Alue osoittautui huonokuntoisimmaksi myös tutkitun putkisto-osuuden pituuteen suhteutettuun vikatiheyteen perustuvassa vertailussa.

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Vuotovesimäärien arviointi sähkönkulutustiedoilla

Kaakilan pumppaamon päiväkohtaiset sähkönkulutukset ja virtaamat vuonna 2017 ovat tehdyn tarkastelun perusteella toisistaan lineaarisesti riippuvia. Muuttujien keskinäiseksi korrelaatiokertoimeksi saatiin 98 % ja regressiomallin selitysasteeksi 95,9 %, mikä viittaa muuttujien vahvaan lineaariseen riippuvuuteen. Tuloksen perusteella virtaaman tilalla voidaan käyttää sähkönkulutuksia laskettaessa vuotovesiin liittyviä tunnuslukuja. Suurin vaihtelu sähkönkulutuksen ja virtaaman suhteessa näyttäisi tapahtuvan poikkeuksellisten suurten virtaamien aikana, mikä voi aiheuttaa epätarkkuutta vuotovesiprosentin laskennassa. Kaakilan pumppaamo on Vesilahden suurin jätevesipumppaamo. Saatu tulos ei anna varmuutta siitä, että virtaaman ja sähkönkulutuksen välinen yhteys olisi yhtä vahva myös pienemmillä pumppaamoilla. Teoreettisen tarkastelun perusteella näin on, sillä toimintaperiaate Vesilahden jätevesipumppaamoilla on koosta riippumatta samankaltainen, ja pumppaustapahtuman teho vakio. Pienemmillä pumppaamoilla esimerkiksi huoltojen yhteydessä tapahtuva sähkönkulutus voi olla peruskulutukseen nähden suurempaa kuin suurimmilla pumppaamoilla, mikä voi aiheuttaa virhettä tuloksiin.

Sähkönkulutustietojen perusteella laskettu vuotovesiprosentti vaikuttaa kuvaavan melko tarkasti todellista tilannetta. Kaakilan pumppaamon magneettisen virtausmittauksen sekä vesilaskutuskirjanpidon mukaan vuotovesiprosentti oli vuonna 2017 Vesilahdella 43,4 %, ja vuotoveden määrä 82 087 m<sup>3</sup>. Sähkönkulutustietojen sekä verkostotietojärjestelmän vesilaskutustietojen pohjalta laskettu vuotovesiprosentti oli 43,3 % ja vuotovesimäärä 71 909,6 m<sup>3</sup>. Erot vuotovesimäärissä johtunevat verkostotietojärjestelmästä haetun ja todellisuudessa lasketun vesimäärän erosta, joka oli noin 6 %.

Sähkönkulutuksen ja viemäriverivirtaaman yhteydestä tulisi tehdä lisää tutkimusta. Lisäkysymyksiä heräsi erityisesti pumppaamon koon vaikutuksesta sähkönkulutuksen ja viemäriverivirtaaman väliseen yhteyteen. Vesilahden viemäriverkostossa ei ole käytössä virtausmittausta Kaakilan lisäksi muilla pumppaamoilla. Myöskään Vesilahden naapurikunnan Lempäälän verkostossa ei ole yhtään jätevesipumppaamoa, jossa olisi luotettava magneettinen virtausmittaus. Poikkeuksena tästä on yksi vasta saneerattu pumppaamo, mutta virtaamadataa ei ole vielä riittävästi tutkimuskäyttöön.

Kaiken kaikkiaan tutkimus antaa viitteitä siitä, että jätevesipumppaamon sähkönkulutuksen vaihtelujen perusteella voitaisiin arvioida viemäriverkostossa syntyviä vuotovesimääriä. Tästä voi olla hyötyä erityisesti vesihuoltolaitoksille, joilla ei ole tarvittavaa virtaamadataa vuotovesitutkimuksen tekemiseen.

## 5.2 Verkoston kunto ja pääasialliset vuotolähteet

Valtaosa Vesilahden alueen viemäriveruodoista vaikuttaa syntyvän huonokuntoisten tarkastuskaivojen ja -putkien kautta. Kenttätutkimuksissa havaituista puutteista kirjattiin yhteensä 184 havaintoa. Yleisimmät havainnot koskivat betonikaivojen vuotavia saumoja sekä muovisten tarkastusputkien teleskooppiosien vikoja. Havainnot ovat samansuuntaisia kuin Materon (2017) tutkimuksessaan esittämät tulokset, joissa yleisimmiksi vuoto-vesireiteiksi todettiin betonikaivojen saumakohdat sekä muovikaivojen teleskoopin ja rungon väliset saumat. Vesilahdella myös pumppaamojen virheellisesti toimivien ylivuotoputkien havaittiin tuottavan huomattavia määriä vuotovesiä verkostoon, ja niiden arvioidaan olevan suurimpia yksittäisiä vuotovesilähteitä. Lisäksi kaivojen vuotavat putkilii-tokset tuottavat paikallisesti merkittäviä vuotovesimääriä.

Runsaimmin vuotovesiä tuottavat verkoston osat sijaitsevat Anttilan, Hovinrinteen, Narvanjoen, Alholahden & Heikkilän & Kipparin, Sorrin ja Anungin alueilla. Korkeimmat vuotovesiprosentit esiintyvät Hovinrinteen, Kielorinteen sekä Alholahden & Kipparin & Heikkilän pumppaamopiireissä. Kaikista mainituista pumppaamopiireistä löydettiin myös korkeita vuotovesiprosentteja selittäviä, merkittäviä vuotovesilähteitä, joihin voidaan korjaustoimenpitein vaikuttaa. Alueittaista vaihtelua on runsaasti, sillä vuotovesiprosentit vaihtelevat, Hakkilan poikkeuksellinen tulos pois lukien, 8,5 % ja 76,6 %:n välillä. Tutkimuksessa lasketut vuotovesiprosentit ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta varsin tavanomaisia niin ROTI 2017 -raportissa esitettyihin suomalaisten viemäriverkostojen vuotovesiprosentteihin, kuin luvussa 2.3.4 esitettyihin kansainvälisiin tuloksiinkin verrattaessa. Poikkeavat tulokset ovat pääosin selitettävissä verkostosta tehdyillä havainnoilla.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) vesihuollon tietojärjestelmään (VEETI) kirjattujen suomalaisten vesihuoltolaitosten keskimääräinen vuotovesiprosentti oli 43,7 % vuonna 2017 (SYKE 2019). Vesilahden koko verkostoa koskeva vuoden 2017 vuotovesiprosentti 43,4 % on keskitasoa niin valtakunnallisesti kuin ympäröiviin kuntiinkin verrattuna (Taulukko 10).

**Taulukko 10. Pirkanmaalaisten kuntien vuotovesiprosentteja**

Kunta	Vuotovesiprosentti (%)	Vuosi	Lähde
<b>Vesilahti</b>	43,4	2017	Vesilahden kunta 2018
<b>Tampere</b>	35,4	2017	SYKE 2019
<b>Lempäälä</b>	38,6	2017	Lempäälän Vesi 2018
<b>Nokia</b>	55,5	2017	SYKE 2019
<b>Pirkkala</b>	29	2011	ELY-keskus 2015
<b>Valkeakoski</b>	44	2011	ELY-keskus 2015

Suhteutettaessa vuotovesien määrä verkoston pituuteen, heikkokuntoisimmiksi alueiksi osoittautuivat Hovinrinne, Anttila sekä Sorri. Verkoston korjaustoimenpiteet suositellaan aloitettavan näistä alueista. Hovinrinteen osalta korkean vuotavuuden selittää suuri yksittäinen, ylivuotoputken kautta tapahtuva vuoto. Anttilan alueella viemäriverkosto on pääosin Vesilahden vanhinta. Haurastuneet betonikaivot vuotavat monin paikoin, ja ne lienevät pääasiallinen vuotolähde Anttilan pumppaamopiirissä. Kaakilan alueella merkittäviä vuotokohteita ei havaittu, johtuen verkoston pienestä koosta. Verkoston koon vuoksi Kaakilaa käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena Anttilan kanssa. Sorrin pumppaamopiirin alueella tilanne on samankaltainen kuin Anttilassa. Verkosto on vanhaa ja vuotavia betonikaivoja havaittiin runsaasti. Savukokeissa tehtyjen havaintojen perusteella myös tonttijohdot ovat mahdollinen vuotolähde. Tonttijohdoissa havaittiin painumia, jotka voivat aiheuttaa viemäriputkiin esimerkiksi halkeamia. Mainittujen alueiden lisäksi Kielorinne, Ylämäki ja Anunki erottuivat alueiden välisessä, verkstopituuteen suhteutetun vuotavuuden vertailussa. Kielorinteen ja Ylämäen alueilla vuotoja aiheuttavat erityisesti liitoksistaan irronneet pumppaamon ylivuotoputket. Myös ne ovat kiireellisimmin korjattavien vikojen joukossa. Anungin pumppaamopiirissä suuria yksittäisiä vuotokohtia ei havaittu. Verkoston pituuteen suhteutettu vuotavuus alittaa Suomen kuntatekniikan yhdistyksen SKTY:n suositusarvon 0,3-0,6 l/s km (Karttunen 2010) kaikissa pumppaamopiireissä Hovinrinnettä lukuun ottamatta.

Savukokeilla tutkitun kuuden pumppaamopiirin alueelta ei löytynyt merkittäviä määriä luvattomia kuivatusvesiliitoksia. Kuivatusvesiä johdettiin viemäriin ainoastaan kolmessa kohteessa vanhan sakokaivon kautta. Havaintojen vähyyteen vaikuttanee kolme tekijää; Vesilahden viemäriverkosto on jo alun perin tehty eriytetyksi järjestelmäksi jätevesien ja hulevesien suhteen. Tämän vuoksi vanhoja, poistamatta jääneitä sekaviemäröintejä ei ole. Alueen korkeuserot ovat myös suhteellisen suuret, mikä useimmiten mahdollistaa pihojen

ja kattojen kuivatusvesien johtamisen alueen ojiin ja vesistöihin. Lisäksi laajoja päällystettyjä piha-alueita ei Vesilahdella juurikaan ole, kirkonkylän terveyskeskuksen ja koulun piha-alueita lukuun ottamatta. Hulevesien hallinta alueella on verrattain helppoa, minkä vuoksi tarvetta liittää hulevesiputkia viemäriin ei ole ollut. Kiinteistöjen omistuksessa olevia vanhoja sakokaivoja ei tutkittu systemaattisesti, joten on mahdollista että sääntöjen vastaisia kuivatusratkaisuja esiintyy todellisuudessa havaittua enemmän. Sakokaivojen kuivatusvesiliitosten lisäksi vesihuoltolinjojen tien alitukien yhteydessä havaittiin vesijohtokaivoja, joiden kuivatusvedet johdetaan viemäriin.

Viemärikuvauksia teetettiin yhteensä noin 900 metriä. Kuvaukset suoritettiin Karholan ja Alholahden viemäriverkostoissa. Kuvatulla alueella vuotoja havaittiin syntyvän pääosin kaivojen sekä niiden putkiliitosten vaurioista. Myös viettokaltevuuksissa havaittiin vajavaisuuksia, pääosin kaivojen läheisyydessä. Putkistoissa havaittiin runsaasti pieniä muodonmuutoksia, joiden ei kuitenkaan havaittu tuottavan vuotovesiä. Vuotoihin liittyvät havainnot tehtiin lähes poikkeuksetta viemärikaivoista tai niiden läheisyydestä. Havaintojen joukossa oli myös pikaista korjausta vaativia vikoja. Kuvauksien avulla viemäriinjojen sijaintitietoja saatiin myös päivitettyä aiempaa verkostotietoa tarkemmiksi.

### **5.3 Kohdetutkimuksen havainnot pumppaamopiireittäin**

#### **5.3.1 Rauhala**

Rauhalan pumppaamopiirin vuotovesiprosentti 40 % on lähellä koko verkoston keskimääräistä vuotovesiprosenttia (43,4 %). Maksimivuotovesikerroin (2,60) on hieman korkeampi kuin muilla tarkastelluilla latvapumppaamoilla keskimäärin. Sähkönkulutuksen ja sadannan välinen korrelaatio on muihin latvapumppaamoihin nähden pieni (0,08). Pumppaamopiiri on suhteellisen pienikokoinen, sisältäen vain 6 liittyjää, joten absoluutiset vuotomäärät eivät ole erityisen suuria; 333,7 m<sup>3</sup>/a (0,033 l/s km).

Rauhalan viemärointi koostuu noin 320 metristä vuonna 2006 rakennettua viettoviemäriä. Kaivoja pumppaamopiirissä on seitsemän, joista kaikki on tarkemmitattu ja kuntotarkistettu. Huomautettavaa löytyi yhdestä viemärikaivosta. Ojan pohjalle asennettu kaivo vuotaa mahdollisesti kansiston kautta vedenpinnan ollessa ojassa korkealla. Havainto voi selittää suuren osan pumppaamolle syntyvistä vuodoista. Savukokeita, virtausmittauksia tai viemärikuvauksia Rauhalan pumppaamopiirissä ei tehty.

#### **5.3.2 Laurila**

Laurilan pumppaamopiirissä vuotovesien osuus kokonaisjätevesimäärästä on laskennan mukaan 28,8 %, mikä vastaa 253,5 m<sup>3</sup>/a suuruista vuotovesikuormitusta. Sähkönkulutuksen ja sadannan välinen korrelaatio oli muihin latvapumppaamoihin verrattuna pieni



(0,07), joten myös Laurilan pumpppaamolle tulevien vuotovesien voidaan olettaa syntyneen pääosin varsinaisena vuotovetenä. Viemäriverkoston pituus on noin 270 m, ja jätevesiliittymiä 7 kpl. Kaivoja on myös 7 kpl, joista yksi on tarkastamatta ja tarkemittaamatta sen jäätyä löytymättä. Tarkistetuista kaivoista yhden havaittiin vuotavan tonttijohdon varauksesta. Lisäksi kyseiseen kaivoon on liitetty pieniläpimittainen, halkaisijaltaan arviolta 40 mm putki, jonka käyttötarkoitus ei selvinnyt. Alueen vesihuoltoverkosto on rakennettu vuonna 2006.

Maksimivuotovesikertoimen (1,68), vuotovesiprosentin ja tehtyjen kaivohavaintojen mukaan verkoston voidaan katsoa olevan hyvässä kunnossa. Johtokilometriä kohden Laurilan pumpppaamopiirissä syntyi vuotoa 0,027 l/s km, mikä on verrattain pieni lukema muihin pumpppaamopiireihin nähden. Savukokeita, virtausmittauksia tai viemärikuvauksia ei Laurilan pumpppaamopiirissä tehty.

### 5.3.3 Mantere

Mantereen pumpppaamopiirissä syntyvät vuodot (840,07 m<sup>3</sup>/a) syntynevät sekä varsinaisena vuotovetenä että hulevuotovetenä. Vuotovesiprosentiksi vuonna 2006 rakennetussa verkostossa saatiin 42,9 %, mikä on ympäröiviin pumpppaamopiireihin nähden korkeahko. Kaivoja pumpppaamopiirin alueella on 25, joista kaikki on tarkastettu ja kuvattu. Neljän kaivon kunnosta kirjattiin huomautettavaa. Kolmen kaivon havaittiin vuotavan joko teleskoopin saumasta tai pohjasaumasta. Yhdessä kaivossa oli jääkiekkomaila, jota ei saatu poistettua.

Mantereen pumpppaamoon on havaittu tulevan jatkuvaa kirkasta vesivirtaamaa myös öiseen aikaan, jolloin vedenkulutus on minimissään. Ainakin osa tästä vuodosta syntyy vuotavien tarkastuskaivojen kautta. Viemärikuvauksia, savukokeita tai virtaamamittauksia ei Mantereen pumpppaamopiirissä tehty.

### 5.3.4 Hakkila

Hakkilan pumpppaamopiirissä sähkönkulutusten perusteella lasketuksi vuotovesiprosentiksi saatiin poikkeuksellisesti miinusmerkkinen lukema. Tämä aiheutunee siitä, että pumpppaamopiiri on hyvin pieni, sisältäen ainoastaan yhden jätevesiliittymän. Laskutettu jätevesimäärä alueelta oli ainoastaan 60 m<sup>3</sup> vuonna 2017. Hakkilan pumpppaamolta vuoden aikana pumpatuksi jätevesimääräksi saatiin 34,1 m<sup>3</sup> pienempi lukema kuin edeltävältä, Mantereen pumpppaamolta arviolta lähtenyt vesimäärä. Tulokseen vaikuttanee vesilaskutustietojen tai sähkönkulutustietojen epätarkkuus. Mahdollinen virhe on varsin pieni kokonaiskuvan kannalta, sillä Hakkilan alueelta laskutettu jätevesimäärä edustaa vain noin 0,5 %:a koko verkoston alueelta vuonna 2017 laskutetusta jätevesimäärästä. Vuonna 2006 rakennetun Hakkilan pumpppaamopiirin vuotovesimäärän voidaan tulosten ja tehtyjen havaintojen perusteella katsoa olevan pieni.

Hakkilan alueen kaivoista on tarkastettu ja kuvattu kaikki kahdeksan kappaletta. Yhden havaittiin mahdollisesti vuotavan teleskooppiosan saumasta.

### 5.3.5 Koskenkylä 1

Koskenkylä 1:n vuotovesiprosentiksi saatiin 20,2 %, mikä on tavanomaista matalampi tulos. Vuotovesimääräksi vuodelle 2017 saatiin 189,2 m<sup>3</sup>. Alueen jätevesikaivoista on tarkistettu ja kuvattu 14 kpl. Kuusi kaivoa jäi löytymättä. Kaivoja on sijoitettu kyntösyvyyden alapuolelle peltoon, josta niitä ei metallinilmaisimellakaan löydetty. Vuotovesien kannalta olennaista huomautettavaa ei löydettyissä kaivoissa ollut. Alueen verkosto on rakennettu vuonna 2006.

Pumppaamopiirin alueella ei tehty savukokeita eikä virtaamamittauksia. Putkistoa kuvattiin kannettavalla kameralaitteistolla pumppaamon kahteen lähimpään kaivoon tulevien viemäriputkien osalta. Kaivoihin tulee putkia, joiden käyttötarkoitus ei ole selvillä. Kuvauksilla ei kameran rajallisen kuvausmatkan vuoksi saatu selvyyttä asiaan, joten lisäselvitykset putkien tarkoituksesta lienevät tarpeen.

### 5.3.6 Koskenkylä 2

Koskenkylä 2:n sähkönkulutustiedoista havaittiin, että sähkövirtaa menee todennäköisesti pumppaamon mittarin kautta muuallekin kuin jäteveden pumppaukseen. Ei ole selvinnyt, mistä poikkeava kulutus johtuu, mutta vuotovesitutkimuksen kannalta sähkönkulutustiedot olivat käyttökelvottomat. Sen sijaan virtaamia arvioitiin kannettavalla virtausmittauslaitteistolla. Mittauksissa saatiin pumppaamopiirin vuotovesiprosentiksi 29,0 %. Tulos on hiukan keskimääräistä parempi.

Vuotoja alueella syntyy ainakin kahden tarkastuskaivon kautta, joiden teleskooppiosan havaittiin olevan täysin irti. Vuotojen lisäksi nämä viat aiheuttavat tukkeutumisriskin, sillä irronneesta liitoksesta voi kulkeutua maata kaivoon. Kaivoja vuonna 2006 rakennetussa verkostossa on yhteensä 18 kpl, joista neljä jäi löytymättä niiden ollessa pellolla maan alla. Savukokeita tai viemärikuvauksia pumppaamopiirissä ei tehty.

### 5.3.7 Halme

Halmeen pumppaamopiirissä on noin 380 metriä viettoviemäriinjaa ja 14 PEH-viemärikaivoa. Verkosto on rakennettu vuonna 2012. Kaivoista noin puolet on tarkemittattu. Halmeen pumppaamo ei toistaiseksi ole käytössä, sillä alueella ei ole yhtään viemäriiliittynyttä. Kesällä 2018 Halmeen pumppaamokaivon havaittiin olevan täynnä vettä, samoin kuin pumppaamolle laskeva viemäriinja. Pumppaamon kuntoa tulisi käyttämättömyydestään huolimatta seurata säännöllisesti. Erityisesti pumppaamon putkiston painepuolelle pääsevä vesi voi jäätyessään rikkoa putkiston toimielimiä (Grundfos 2018).

Koska Halmeen pumppaamopiiri ei tuota jätevesiä Vesilahden kunnan verkostoon, vuotovesitutkimusta ei tässä pumppaamopiirissä tehty.

### 5.3.8 Ylämäki

Ylämäen alueen viemäriverkosto on rakennettu pääosin vuonna 1997, ja se koostuu noin 1100 metristä viemäriinjaa sekä 23 tarkastuskaivosta. Kaivoista kaksi on tarkistamatta niiden jäätyä löytymättä maan alta. Viiden kaivon kunnossa havaittiin puutteita. Vuotovesiä Ylämäen pumppaamolla syntyi 38,7 % kaikesta pumpatusta jätevedestä vuonna 2017, yhteensä noin 1635 m<sup>3</sup>. Verkostokilometriä kohden vuotoa kertyi suhteellisen paljon, 0,049 l/s km.

Muutamien huonokuntoisten kaivojen lisäksi vuotoja havaittiin syntyvän pumppaamon ylivuotoputken kautta. Ylivuotoputki on tulpattu, mutta sen havaittiin siitä huolimatta vuotavan vettä pumppaamon etukaivoon. Tämä johtuu todennäköisesti irtonaisesta putkiliitoksesta. Ylivuotoputki lienee suurin yksittäinen vuotolähde Ylämäen pumppaamopiirissä. Putki kuvattiin kannettavalla kuvauslaitteistolla, mutta kuva oli epätarkkaa, sillä putkessa oli runsaasti vettä. Ylivuotoputkella on potentiaalia vuotaa vettä runsaastikin, sillä se on sijoitettu ojaan, johon koko taajama-alueen hulevedet puretaan.

Ylämäen pumppaamopiirissä tehtiin savukokeita luvattomien hulevesiliitosten löytämiseksi. Luvattomia liitoksia ei löytynyt, mutta savukokeilla tehtiin muita huomioita verkoston kunnosta, esimerkkinä yksi tukkeutunut johto-osuus.

### 5.3.9 Koskenjoki 1

Koskenjoki 1 on pieni vuonna 1998 rakennettu pumppaamopiiri, johon on liittynyt 6 asiakasta. Pumppaamolta otetaan sähköä myös katuvalaistukseen, joten olennaisia vuotoveisiin liittyviä tunnuslukuja ei sähkönkulutustietojen perusteella voitu laskea. Myöskään virtaamamittaus kohteessa ei onnistunut riittävän tarkasti viemäriveresivirtaamien ollessa pieniä. Alueen verkoston voidaan kuitenkin katsoa olevan verrattain hyvässä kunnossa, sillä esimerkiksi kaivojen kunnossa ei ollut huomautettavaa, eikä selviä vuotopaikkoja havaittu. Alueen kaikki viemärikaivot on tarkastettu ja kuvattu. Pumppaamolle ei myöskään havaittu tulevan vuotovedeksi tulkittavaa jatkuvaa virtaamaa öisen minimikulutuksen aikaan.

Tervakallion jätevesipumppaamon vuotovesilaskentaa varten Koskenjoki 1:n vuotovesiprosentiksi arvioitiin 31,5 % alueen keskiarvon mukaisesti. Viemärikuvauksia tai savukokeita verkostossa ei tehty.

### 5.3.10 Koskenjoki 2

Koskenjoki 2 -pumppaamon sähkönkulutustietojen perusteella sähköä vaikuttaisi kuluvan pumppaamon mittarin läpi muuhunkin kuin pumppaamon omaan toimintaan. Tämän vuoksi Koskenjoki 2 -pumppaamopiirille ei laskettu sähkönkulutuksiin perustuvia vuoto-vesiarvioita. Sen sijaan pumppaamolla suoritettiin virtausmittausta, jonka tuloksena vuoto-vesiprosentiksi saatiin suhteellisen matala lukema, 19,2 %. Myös verkoston pituuteen suhteutettu vuotavuus on pienekkö, 0,004 l/s km. Verkosto on rakennettu pääosin vuonna 2012.

Suuria vuotopaikkoja verkostossa ei havaittu. Alueen tarkastuskaivoista ja -putkista kolmesta löytyi huomautettavaa. Toistaiseksi kartoittamattomia, löytymättä jääneitä kaivoja pumppaamopiirin alueella on 4 kpl.

### 5.3.11 Tervakallio

Tervakallion viemäriverkosto on rakennettu vuosien 1996–1998 aikana. Pumppaamopiirille laskettu vuoto-vesiprosentti 18,0 % on keskimääräistä matalampi. Alueelta löytyi kuitenkin 11 huonokuntoista kaivoa. Pääosa kuntohavainnoista koski kaivojen teleskooppiosia, joiden havaittiin kärsineen muodonmuutoksia.

Koskenjoki 1 -pumppaamo purkaa pumppaamansa jäteveden Tervakallion pumppaamolle. Koskenjoki 1:lle ei pystytty laskemaan vuoto-vesiprosenttia, vaan laskennan etene-miseksi vuoto-vesiarvioksi asetettiin Koskenkylän taajama-alueen keskimääräinen vuoto-vesiprosentti 31,5 %. Tämä arvio voi heikentää mahdollisesti myös Tervakalliolle lasket-tujen tulosten luotettavuutta. Kaivohavainnot huomioon ottaen on mahdollista, että todellinen vuoto-vesiprosentti Tervakallion pumppaamopiirissä on hieman esitettyä suurempi.

### 5.3.12 Montionoja

Montionojan pumppaamopiirin vuoto-vesiprosentiksi laskettiin 40,7 %. Johtokilometriä kohden vuodon määrä (0,047 l/s km) on Rauhalan, Ylämäen ja Mantereen ohella Koskenkylän alueen suurinta. Absoluuttinen vuoto-vesimäärä, 847 m<sup>3</sup>, on Montionojoilla näistä pumppaamopiireistä Ylämäen jälkeen toiseksi suurin. Vuotoa selittää osaltaan kolme vuotavaksi havaittua kaivoa. Lisäksi vuotoa syntyy kohteessa, jossa kiinteistön piha- alueen kuivatusvesiä havaittiin johdettavan sakokaivon kautta viemäriverkostoon. Montionojan kaivoista neljä jäi löytymättä niiden sijaitessa hevossaassa maan alla. Verkosto on rakennettu vuonna 1996.

Alueella ei suoritettu virtausmittauksia, savukokeita tai viemärikuvauksia. Montionojan jätevesipumppaamo sijaitsee hyvin matalassa maastonkohdassa suuren valtaojan vierellä. Tämän vuoksi pienikin putkiston tai kaivon vaurio voi synnyttää verkostoon suuren vuoto-vesimäärän.

### 5.3.13 Heikkilä

Heikkilän pumppaamopiirille laskettiin yhteinen vuotovesiprosentti (50,4 %) Karholan ja Alholahden pumppaamopiirien kanssa. Pumppaamopiirejä käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena, sillä näillä pumppaamoilta pumpatun jäteveden määrä suhteessa laskutettuun jätevesimäärään on poikkeuksellisen suuri. Tämä johtuu pumppaamojen ketjutuksesta ja suuriin linjapumppaamoihin liittyneiden kiinteistöjen vähäisestä määrästä. Ilmiö lisää virhealttiutta vuotovesiprosentin laskennassa. Kun laskenta tehtiin alueet yhdistäen, ketjutuksen ja kiinteistöjen vähäisen määrän aiheuttaman mahdollisen virheen todennäköisyys pieneni.

Heikkilän alueella havaittiin neljä vuotavaa kaivoa. Erityisesti kaksi kaivoa, joiden teleskooppiosan havaittiin olevan kokonaan irti, aiheuttavat runsaita vuotoja sekä tukkeutumisriskin. Yhdestä maan alla sijaitsevasta kaivosta puuttuu kansi, mikä aiheuttaa korkean tukkeutumisriskin. Suuri osa (16/24) pumppaamopiirin kaivoista on pellossa kyntösyvyyden alapuolella, josta niitä ei etsinnöistä huolimatta löydetty. Tien alittavasta viemäriputkesta havaittiin tulevan jatkuvaa virtaamaa pumppaamolle, mikä viittaa vuotoon.

Viemäriä kuvattiin Heikkilän pumppaamopiirissä noin 300 m. Lisäkuvaukset vuonna 1995 rakennetussa verkostossa ovat tarpeen, sillä kuvausta ei pystytty ulottaa riittävän pitkälle maan alla olevien kaivojen saavuttamattomuuden vuoksi. Jatkokuvaukset vaativat kaivojen esiin kaivuun.

### 5.3.14 Karhola

Karholan alueen viemärointi on rakennettu pääosin vuosien 1989–1990 aikana. Pumppaamopiirille laskettu vuotovesiprosentti 20,3 % on keskimääräistä pienempi. Siitä huolimatta pumppaamolle havaittiin virtaavan jatkuvasti vuotovesiksi epäiltyä vettä Alhontien länsipuolisesta viemäri linjasta. Ilmiö voidaan nähdä myös Karholan sähkönkulutuskäyrästä (liite B), jossa peruskulutus erityisesti syksyllä on merkittävästi korkeammalla kuin alkuvuodesta, kuitenkin ilman selviä piikkejä. Tällainen vuoto ei välttämättä tule huomioituksi sähkönkulutukseen perustuvassa vuotovesilaskennassa, mikäli virtaamanvaihtelut ovat pieniä. Tasainen vuoto ei aiheuta suuria sähkönkulutuksen vaihteluita, mistä johtuen se on vaikea havaita.

Havainnon perusteella viemäriputkea kuvautettiin Delete Oy:llä pumppaamolta Vainiontien puoliväliin ja Teerenpolun päähän saakka, yhteensä noin 330 metriä. Kuvauksessa havaittiin runsaasti vuotoja aiheuttavia vikoja. Neljä viemärikaivoa on kohonnut todennäköisesti roudan nostamana, ja aiheuttanut viemäriä padottavia muodonmuutoksia kaivojen läheisyydessä. Viemäriin kaltevuus on monin paikoin epätasainen, johtuen kaivojen siirtymistä. Yhdessä viemärikaivossa on vuotoa aiheuttava tulppaamaton reikä, joka on kaivoa asennettaessa porattu talohaaraa varten ilmeisesti väärään kohtaan. Lisäksi selviä viemäri vuotoja havaittiin useiden kaivojen putkiliitoksissa. Vikojen korjaaminen vaatii

seitsemän kaivon uusimisen. Myös kaivoille tulevia viemäriputkia tulee uusia noin 1-2 metrin matkalta kaivosta niiden kärsimien muodonmuutosten vuoksi. Ainakin osa kuvastusta viemäriulinjasta sijaitsee pohjavedenpinnan alapuolella, minkä vuoksi vuotomäärät voivat olla suuria.

Kaivojen silmämääräiset tarkistukset vahvistavat kuvausten tuloksia. Tarkistuksissa seitsemässä kaivossa havaittiin kuntopuutteita, jotka vaikuttavat lisäävän vuotovesimäärää. Kaivojen pääasiallinen vuotoreitti näyttäisi olevan puutteellisesti tiivistetyt putkiyhteet. Kaivoista on tehty samankaltaisia havaintoja Vesitalkkari Eklöfin tutkimuksissa jo vuonna 2015, mutta riittäviä korjaavia toimenpiteitä ei ole tehty.

Karholan pumppaamopiiriä koskevat tulokset pitävät sisällään myös Tuulikalliontien vesiosuuskunnan verkoston, joka purkaa jätevedet Karholan viemäriverkostoon. Erillistä laskentaa vesiosuuskunnan verkostoon ei tehty.

### **5.3.15 Narvanjoki**

Narvanjoen pumppaamopiirille laskettu vuotovesiprosentti on 43,8 %. Lukema sisältää myös Länsi-Narvan vesiosuuskunnan alueelta Narvanjoen pumppaamolle mahdollisesti tulevat vuotovedet. Alueen viemäriverkoston varhaisimmat osat on rakennettu vuonna 1980. Tuolta ajalta olevien betonikaivojen kunnossa havaittiin runsaasti puutteita. Esimerkiksi kaivonrenkaiden välisten saumojen sekä putkiliitosten havaittiin usein vuotavan, ja tuottavan siten vuotovesiä viemäriin. Alueen viemäreissä havaittiin myös tukkeumia muita tutkittuja alueita enemmän.

Narvanjoen pumppaamopiiri käytiin lähes kokonaisuudessaan läpi savukokein. Yhden kiinteistön havaittiin johtavan piha-alueen salaojavetensä sakokaivoon ja sitä kautta viemäriverkostoon. Lisäksi yksi kiinteistö oli sakokaivonsa kautta liittynyt viemäriverkostoon, vaikka verkostotietojärjestelmän mukaan kyseinen kiinteistö ei ole vesihuoltolaitoksen asiakas. Kyseessä voi olla tietokatkos asiakkuustiedon siirtämisessä järjestelmään. Alueen viemäriverkostosta neljä kaivoa jäi löytymättä. Näistä kahden tiedetään olevan asfalttipäällysteen alla. Viemärikuvauksia alueella ei tehty. Narvanjoen pumppaamopiiri ei erotu muista alueista, kun verkoston vuotavuus suhteutetaan verkostopituuteen. Tästä huolimatta kaivojen uusimisella pystytään vähentämään alueella syntyviä vuotoja merkittävästi.

### **5.3.16 Kippari**

Kipparin vuonna 1993 rakennetulle pumppaamopiirille laskettu Alholahden ja Heikkilän verkostojen kanssa yhteinen vuotovesiprosentti (50,4 %) on korkeahko verrattuna Vesilahden keskimääräiseen vuotovesiprosenttiin. Kipparin osalta vuotoa havaittiin syntyvän erityisesti pumppaamon ylivuotoputken kautta. Pumppaamon etukaivossa on selvää vuotojälkeä; putkesta on kulkeutunut kaivoon maa-ainesta ja vuoto on ilmeisen runsas.

Kipparin pumppaamopiirin 16 kaivosta on mitattu ja tarkastettu 13. Vuotavan etukaivon lisäksi muita vuotohavaintoja ei ole tehty. Vuotavaksi epäilty ylivuotoputki kuvattiin. Kuvausta häiritsi putkessa oleva vesi. Putken havaittiin olevan mahdollisesti tulpattu, ja vuotavan siitä huolimatta. Savukokeita Kipparin pumppaamopiirissä ei tehty.

### **5.3.17 Alholahti**

Alholahden pumppaamopiiri koostuu 3044 metristä viettoviemäriä. Alueen viemäriverkosto on pääosin vuodelta 1993. Viemärin tarkastuskaivoja on 55, joista ainoastaan 22 on tarkistettu. Tarkistettujen kaivojen vähäinen määrä johtuu siitä, että kaivot ovat pellossa kyntösyvyyden alapuolella. Seitsemän kaivon kunnosta on kuitenkin kirjattu huomautus. Alueen verkostossa havaittiin tasaista viemäriverkoston virtaamaa, joka on tulkittavissa vuotovedeksi. Havainnon perusteella alueen viemäriä kuvattiin noin 250 metriä. Kuvauksia vaikeutti viemäriin sijainti kaukana tiestä. Kuvauksissa havaittiin kolme runsaasti vuotavaa, kiireellisesti korjattavaa kaivoa, sekä painumien aiheuttamia heikkoja viettokaltevuuksia. Käyttämällä kamerapään paikantamisominaisuutta kuvausten avulla pystyttiin myös tarkentamaan viemäriin sijaintia kartalla.

Alholahti- Kippari- Heikkilä- alueen vuotovesiprosentin laskettiin olleen 50,4 % vuonna 2017, mikä on tutkituista alueista kolmanneksi suurin. Savukokeita ei tehty näiden pumppaamopiirien alueella.

### **5.3.18 Järvenranta**

Järvenrannan pumppaamo on rakennettu tulevaisuuden tarpeita ajatellen vuonna 2015. Pumppaamoon ei ole kuitenkaan liittynyt yhtään kiinteistöä, eikä pumppaamoa ole toistaiseksi otettu käyttöön. Kartoituksen yhteydessä pumppaamon havaittiin olevan täynnä vettä. Veden jäätyminen pumppaamon sisällä saattaa aiheuttaa vaurioita pumppaamon rakenteisiin. Erityisesti painepuolelle päässyt jäätyvä vesi voi aiheuttaa putkiston tai sen toimielinten rikkoontumista (Grundfos 2018). Myös pumppaamolle tulevissa viemäriinjoissa oli runsaasti vettä.

Järvenrannan pumppaamopiirissä on noin 1600 metriä viettoviemäriä, ja 32 viemärikaivoa. Viemäriä ei sen käyttämättömyyden vuoksi ole toistaiseksi tarkistusmitattu tai kuntotarkastettu. Myöskään vuotovesitutkimusta ei tällä alueella tehty.

### **5.3.19 Veikkola**

Veikkolan pumppaamopiiri on pieni, sisältäen ainoastaan kaksi viemäriverkkoon liittyntä kiinteistöä. Viettoviemäriä on 60 metriä, sisältäen kaksi hyväkuntoista tarkastuskaivoa. Viemäri on tarkistusmitattu. Poikkeuksellisen korkeita sähkönkulutuksia tai niiden korrelaatiota sadetapahtumiin ei havaittu.

Pumppaamopiirin maksimivuotovesikertoimeksi saatiin 1,52, mikä kertoo viemärin hyvästä kunnosta. Pumppaamopiirille laskettu vuotovesiprosentti on 17,2 %, ja vuonna 2017 syntynyt vuotovesimäärä 91,8 m<sup>3</sup>. Verkostokilometriä kohden muodostunut suhteellinen vuotovesimäärä on hieman tavanomaista korkeampi 0,049 l/s km. Verkoston poikkeuksellinen lyhyys lisää kuitenkin tuloksen virhealttiutta. Veikkolan pumppaamopiiri ei tuota merkittäviä vuotovesimääriä viemäriverkostoon.

### 5.3.20 Kielorinne

Kielorinteen vuotovesiprosentiksi saatiin 61,2 %, mikä on verkoston keskiarvoa huomattavasti korkeampi. Sähkönkulutustietojen perusteella vuotovesiprosenttia ei voitu laskea, sillä sähköä vaikuttaa kuluvan muuhunkin kuin jäteveden pumppaukseen. Sen sijaan pumppaamolla mitattiin jätevesivirtaamaa, jonka perusteella vuotovesiin liittyvät tunnusluvut laskettiin. Pumppaamon ylivuotoputki kuvattiin minCam -viemärikameralla. Noin kahden metrin etäisyydellä putken päästä havaittiin irronnut putkiliitos, joka tuottaa todennäköisesti merkittäviä vuotovesimääriä verkostoon ja siten selittää korkean vuotovesiprosentin. Etukaivoon on kulkeutunut maata ylivuotoputkesta, mikä myös viittaa vuotoon. Ylivuotoputken purkupää sijaitsee ojassa, johon puretaan myös alueen hulevedet. Tämä nostaa ylivuodon vuotopotentiaalia erityisesti sateiden aikaan, kun ojan ja pohjaveden pinta on korkealla.

Alueen kaivot ovat verrattain hyvässä kunnossa, eikä vuotovesien suhteen korjattavaa löytynyt. Verkosto on varsin nuorta, vuonna 2012 rakennettua. Kartoitus- ja tarkastustyötä hidasti kaivojen sijainti ajoradalla, usein noin 30–50 cm paksun tiiviin sorakerroksen alla. Savukokeita Kielorinteen alueella ei tehty. Lasketun vuotovesiprosentin luotettavuutta heikentää osaltaan se, että alueelle on valmistunut vastikään uusia omakotitaloja, joilla ei ole ollut vedenkulutusta vielä vuonna 2017. Alueen todellinen vuotovesiprosentti on siten todennäköisesti jonkin verran ilmoitettua matalampi.

### 5.3.21 Hovi

Hovin pumppaamolta ei ollut luotettavia sähkönkulutustietoja saatavilla. Vuotovesiprosentti 26,0 % määritettiin viikon mittaisella virtaaman mittausjaksolla. Verkostokilometriä kohden vuotoa laskettiin syntyneen 0,025 l/s km vuonna 2017, mikä on muihin pumppaamopiireihin nähden tavanomainen lukema. Hovin pumppaamopiirissä vuotoa havaittiin syntyvän ainakin kolmen puutteellisen viemärikaivon kautta.

Hovin pumppaamon ylivuotoputki kuvattiin, mutta siinä ei havaittu vuotoja. Savukokeita vuonna 2004 rakennetussa verkostossa ei tehty. Hovin alueen 47 viemärikaivosta yksi jäi tarkastamatta johtuen sen sijainnista asfalttipäällysteen alla.



### 5.3.22 Pappila

Pappilan pumppaamopiirille laskettu vuotovesiprosentti 15,8 % on tutkimusalueen pienimpiä. Syntyneen vuotoveden tilavuudeksi määritettiin 1021,8 m<sup>3</sup>/a, josta saadaan verkostokilometriä kohden verrattain pieni luku, 0,017 l/s km. Pappilan alueen 46 kaivoista kaksi jäi löytymättä ja siten tarkastamatta. Kahdessa kaivossa havaittiin korjausta vaativaa vikaa, ja lisäksi yhden kaivon pohjalla oli tukkeutumisvaaran aiheuttava suurehko kivi.

Kokonaisuudessaan viemäriverkosto on hyväkuntoista, eikä tuota merkittäviä vuotovesimääriä. Verkosto on rakennettu pääosin vuosina 1992–1993. Viemärikuvauksia tai savukokeita pumppaamopiirin alueella ei tehty.

### 5.3.23 Hovinrinne

Hovinrinteelle laskettu vuotovesiprosentti 76,6 % on koko tutkimusalueen suurin. Hovinrinteen pumppaamopiirille laskettu maksimivuotovesikerroin 11,80 on latvapumppaamon suurin. Myös verkostopituuteen suhteutettu vuotavuus on tutkimusalueen suurin (0,375 l/s km). Pumppaamon sähkökulutuksen havaittiin pysyttelevän normaalitasoa korkeammalla erityisesti loka- marraskuussa voimakkaiden sateiden aikaan. Lisäksi sähkökulutuksen havaittiin kasvaneen runsaimpien sadetapahtumien yhteydessä poikkeuksellisen paljon, jopa 50 -kertaiseksi normaalitasoon nähden. Havainto viittaa siihen, että sadevesi pääsee kulkeutumaan suoraan viemäriverkostoon.

Kenttätyössä tehdyt kaivohavainnot selittävät osan vuodosta. Alueen 27 kaivosta yhdestätoista kirjattiin kuntohavainto. Havainnoista yhdeksän koski vinossa olevaa, mahdollisesti vuotavaa muovikaivon teleskooppiosaa. Alueen viemäriverkosto on rakennettu vuonna 2001.

Suurin selittävä tekijä runsaalle vuotovesiprosentille lienee pumppaamon ylivuotoputki, jonka havaittiin irronneen liitoksestaan ja vuotavan runsaasti erityisesti sateiden aikaan. Putki kuvattiin MinCam -kameralla. Putken purkupää on sijoitettu ojaan, johon laskee myös alueen hulevesiviemärit. Nämä hulevedet ovat päässeet virtaamaan suoraan pumppaamoon liitoksestaan irronneen ylivuotoputken kautta. Kyseessä lienee suurin yksittäinen vuotokohta koko verkostossa. Vian korjaaminen on yksinkertainen toimenpide, joka pienentäne alueella syntyvää vuotovesitilavuutta merkittävästi.

Toinen merkittäväksi arvioitu vuoto tulee pumppaamokaivoon tuloputken läpiviennistä, jonka havaittiin vuotavan silminnähden. Lisäksi alueen kaivoille on tehtävä korjauksia, jotka on esitelty tarkemmin korjausohjelmassa. Vuotomäärän laskettiin olleen 11476,9 m<sup>3</sup> vuonna 2017, mikä vastaa yli 13 %:a koko Vesilahden toteutuneesta vuotovesitilavuudesta.

### 5.3.24 Anunki

Anungin pumpppaamopiirin vuotovesiprosentiksi laskettiin 31,1 %, mikä on hieman keskimääräistä matalampi lukema. Verkostokilometriä kohden suhteutettu vuotovesimäärä 0,061 l/s km on kuitenkin keskimääräistä korkeampi. Anungin pumpppaamopiirin viemäriverkosto on rakennettu pääosin vuosina 1989–1990, mutta alueella on myös myöhemmin rakennettuja verkosto-osuuksia.

Alueen 51 tarkastetusta kaivosta kolmen kunnossa havaittiin puutteita. Vuotopaikkojen löytämiseksi alue tutkittiin kokonaisuudessaan savukokein. Yhden kiinteistön alueella vuotovesiä havaittiin syntyvän todennäköisesti maan rajaan sijoitettujen viemärin tuuletusputkien kautta. Yhden kiinteistön pihamaalla havaittiin tulppaamaton, maan rajaan sijoitettu tarkastusputki jonka kautta vuotojen syntyminen on mahdollista. Lisäksi yksi johto- osuus paljastui todennäköisesti painuneeksi ja sen vuoksi tukkoiseksi. Havainnoilla voitaneen selittää osa pumpppaamopiirin vuodoista, mutta viemärin kuvaus voisi mahdollisesti paljastaa lisää vuotopaikkoja.

### 5.3.25 Sorri

Sorrin pumpppaamopiirin viemäriverkosto sisältää Vesilahden vanhimpia viemärilinjoja. Vanhimmat osat ovat 1970- luvun lopulta. Lisäksi Sorrin alueella on uudempaa, vuonna 2006 rakennettua viemärilinjaa. Erityisesti vanhoissa betonikaivoissa havaittiin lukuisia vuotokohtia. Tämä näkyy pumpppaamopiirille lasketussa vuotovesiprosentissa (41,1 %). Myös korkea verkostopituuteen suhteutettu vuotomäärä (0,070 l/s km) kertoo verkoston suhteellisen huonosta kunnosta. Vuotovesien syntymisen havaittiin olevan yhteydessä sadantaan varsin suurella korrelaatiokertoimella (0,41) muihin latvapumppaamoihin verrattuna. Maksimivuotovesikertoimeksi laskettiin 2,60.

Viemäriä ei kuvattu, mutta suuri osa vuodoista selittyy vuotavilla tarkastuskaivoilla. Betonikaivojen lisäksi myös alueen muovikaivoissa havaittiin jonkin verran vuotoja aiheuttavia ongelmia, lähinnä kaivojen teleskooppiosiin liittyen. Alueen kaivoista 31 %:n kunnossa oli huomautettavaa. Myös betonisen pumpppaamokaivon huomattiin vuotavan seinämästään. Sorrin alue käytiin läpi savukokein. Luvattomia hulevesiliitoksia ei esiintynyt, mutta savukokeissa havaittiin muita vikoja kuten verkoston tukkoisuutta. Erityisesti alueen tonttijohdoissa vaikuttaa olevan runsaasti painumia tai muodonmuutoksia, sekä niiden aiheuttamaa padotusta. Tämä näkyi savun heikkona kulkeutumisena tonttijohdoja pitkin kiinteistöviemärien tuuletusputkiin.

### 5.3.26 Heiska

Heiskan pumpppaamopiirissä osa viemärin tarkastuskaivoista sijaitsee kiinteistöjen pihamaalla, mikä rajoitti niiden etsintää sekä maan alla olevien kaivojen esiin kaivamista.

Yhteensä 39 alueen 48 kaivosta tarkastettiin, ja ainoastaan kolmessa havaittiin korjattavaa. Alueelle laskettu vuotovesiprosentti 15,6 % olikin varsin matala. Verkosto on rakennettu pääosin vuonna 1990.

Heiskan pumppaamopiirissä ei tehty savukokeita tai viemärikuvauksia. Suuria yksittäisiä vuotolähteitä ei löytynyt, ja alueen viemäriverkostoa voidaan pitää verrattain hyväkuntoisena.

### **5.3.27 Kirkkolahti**

Kirkkolahdelle laskettu vuotovesiprosentti on muuhun verkostoon verrattuna poikkeuksellisen alhainen, 13,9 %. Verkostokilometriä kohden vuotomäärä on myös hieman keskimääräistä alempi, 0,011 l/s km. Pääosin vuonna 2003 rakennetun verkoston 10 kaivosta vain 1 on toistaiseksi tarkemmitattu ja tarkastettu. Vuotovesiprosentin laskennassa Kirkkolahden pumppaamon sähkönkulutusdatasta jätettiin alkuvuoden tietoja huomioimatta, todennäköisen teknisen vian aiheuttaman poikkeavan sähkönkulutuksen vuoksi.

Kirkkolahdelle lasketut tulokset koskevat Kirkkolahden ja Ahtiaisen pumppaamopiirien muodostamaa verkostokokonaisuutta. Ahtiaisten pumppaamo purkaa pumpatun jäteveden Kirkkolahden pumppaamolle. Erillistä tarkastelua pumppaamoille ei ole tehty niiden pienen koon ja Ahtiaisen pumppaamon puuttuvien sähkönkulutustietojen vuoksi. Savukokeita, virtaamamittauksia tai viemärikuvauksia alueella ei tehty.

### **5.3.28 Kuulia**

Kuulian pumppaamolle laskeva viemäriverkosto on kohtalaisen hyväkuntoista. Vuotovesiprosentiksi laskettiin 16,6 %, mikä on verkoston keskiarvoon nähden varsin matala. Myös verkostopituuteen suhteutettu vuotavuus on keskimääräistä matalampi, 0,018 l/s km. Verkosto on rakennettu vuonna 1994.

Alueen 24 kaivosta tarkastettiin 21. Yhdessä kaivossa havaittiin putkiliitoksen kautta tapahtuvaa vuotoa. Muita merkittäviä vuotovesilähteitä ei havaittu. Kolmessa kaivossa oli tukkeumaa. Kuulian alueella ei tehty savukokeita tai viemärikuvauksia.

### **5.3.29 Anttila**

Anttilan pumppaamopiiriä koskeviin tuloksiin on sisällytetty myös Kaakilan alueen viemäriverkosto. Anttilan ja Kaakilan pumppaamopiirien muodostaman verkostokokonaisuuden vuotovesiprosentiksi laskettiin 44,5 %. Luku on verkoston keskiarvoa suurempi. Anttilan pumppaamolle laskeva viemäriverkosto on muihin Vesilahden pumppaamopiireihin poikkeuksellisen suuri, minkä vuoksi myös syntynyt vuotovesitulavuus on suuri (22967,5 m<sup>3</sup>/a). Verkoston pituuteen suhteutettuna alue erottuu myös joukosta, vuotavuuden ollessa 0,115 l/s km. Anttilan alueella vuotoja aiheuttavat erityisesti vanhat betoniset

tarkastuskaivot, joiden havaittiin vuotavan yleisesti. Verkosto on rakennettu pääosin vuosina 1979–1985. Tarkastetuista viemärikaivoista 27 %:ssa havaittiin vuotoja tai kuntopuutteita. Viemärikaivojen lisäksi Anttilan alueella on vesijohtokaivoja, joiden kuivatusvedet on johdettu viemäriin. Erityisesti pumppaamon läheisyydessä Rautialantien alittavan vesijohtolinjan tarkastuskaivon arvioitiin tuottavan verkostoon suhteellisen paljon vuotovettä. Lisäksi Anttilan pumppaamon etukaivoon havaittiin tulevan runsasta vuotoa viemäriputkesta, joka on jätetty maahan todennäköisesti tulppaamattomana viereisellä tontilla sijainneen rakennuksen purkamisen yhteydessä.

Esitetyissä vuotovesiluvuissa Anttilan lukuihin on sisällytetty Kaakilan pumppaamopiirin viemäriverkosto. Se ei kuitenkaan edusta merkittävää osuutta vuotovesistä ollessaan Anttilaa huomattavasti pienempi. Anttilan alue käytiin läpi savukokein lähes kokonaisuudessaan. Kahdessa kohteessa kuivatusvesiä havaittiin johdettavan vanhan sakokaivon kautta viemäriin. Muita vuotovesien kannalta merkittäviä havaintoja savukokein ei tehty.

### **5.3.30 Varpe**

Varpen pumppaamopiirissä syntynyt vuotovesitilavuus on verrattain pieni, 178,3 m<sup>3</sup>/a. Vuotovesiprosentiksi alueelle laskettiin maltillinen 8,5 %, joka on tutkituiden pumppaamopiirien pienimpiä. Alueen viemäriverkosto on verrattain nuorta, pääosin vuodelta 2001, mikä lienee osasyynä verkoston hyvään kuntoon.

Varpen alueen viemärikaivojen kunnossa ei ollut moitittavaa. Viemärikuvauksia, savukokeita tai virtausmittauksia alueella ei tehty.

### **5.3.31 Kaakilanmutka**

Kaakilanmutkan pumppaamopiirin vuotovesiprosentiksi laskettiin hieman keskimääräistä matalampi 35,6 %. Alueelta tehtiin seitsemän kaivohavaintoa, joista kolme liittyy vuotovesiin. Yhtä lukuun ottamatta alueen kaikki 44 viemärikaivoa on tarkastettu, mitattu ja kuvattu. Tarkastamaton kaivo on asfaltin alla. Verkostopituuteen suhteutettu vuotavuus oli Vesilahden keskitasoa (0,036 l/s km).

Kaakilanmutkan alueen viemäriverkosto on rakennettu pääosin vuonna 2008. Verkoston verrattain nuori ikä lienee osasyynä siihen, että suuria vuotoja alueella ei havaittu.

### **5.3.32 Kaakila**

Kaakilan alueella viemäriverkoston liittymiä on 11, joista suurin osa on liittynyt paine-viemäriin. Viettoviemäriä alueella on ainoastaan 88 metriä. Tämän vuoksi Kaakilan pumppaamopiirissä lasketut vuotovesimäärät on sisällytetty edellä esitettyihin Anttilan pumppaamopiirin lukuihin.

Kaakilan pumppaamopiirin kahdesta tarkastuskaivosta toinen on tarkastettu, ja sen havaittiin olevan varsin rapistunut betonikaivo. Merkittäviä vuotomääriä Kaakilan pumppaamopiiristä ei kuitenkaan havaittu tulevan.

### 5.3.33 Vesiosuuskunnat

Tuulikalliontien vesiosuuskunnan viemäriverkosto sisällytettiin Karholan pumppaamopiiriä koskevaan tarkasteluun. Vesiosuuskunta purkaa jätevetensä Karholan viemäriverkostoon, eikä erillistä vuotovesilaskentaa sen verkostolle tehty. Merkittäviä vuotopaikkoja Tuulikalliontien vesiosuuskunnan alueelta ei kaivotutkimuksin havaittu. Myöskään Karholan alueelle purkavan viemäriinjan ei havaittu tuottavan jatkuvaa virtaamaa verkostoon, mikä viittaa verkoston hyväkuntoisuuteen.

Länsi-Narvan vesiosuuskunta pitää sisällään Penttilän ja Yli-Arvelan pumppaamopiirit. Vesiosuuskunnan alueella syntyvät vuotovedet sisällytettiin Narvanjoen pumppaamopiiriä koskevaan tarkasteluun.

## 5.4 Virhelähteet

Sähkönkulutustietojen perusteella tehtävässä vuotovesitarkastelussa ilmeni joitakin virhelähteitä, jotka voivat heikentää tulosten luotettavuutta. Sähkönkulutuksen ja jätevesivirtaaman välinen korrelaatio näyttäisi olevan vahva ja hyvin lineaarinen, millä voidaan perustella vuotovesiprosentin laskenta sähkönkulutustietojen pohjalta. Erityisesti suuremmilla virtaamilla poikkeamat lineaarisuudesta kuitenkin vaikuttavat lisääntyvän, mikä lisää virheen mahdollisuutta laskennassa. Sähkönkulutuksen ja jätevesivirtaaman välistä yhteyttä olisi ollut hyvä tutkia myös pienemmillä pumppaamoilla, mutta sitä ei tehty magneettisten virtausmittareiden puuttumisen vuoksi.

Vuotovesiprosentin laskenta perustuu oletamaan, jossa vuoden pienimmän neljän perättäisen viikon aikaisen virtaaman aikana verkostoon ei synny vuotovesiä, vaan kaikki viemäriessä virtaava vesi on laskutettua jätevettä. Periaatetta sovellettaessa laskennassa virtaamat korvattiin sähkönkulutuksilla. Oletus mahdollistaa laskentasuorituksen, mutta voi aiheuttaa virheitä tuloksiin tapauksissa, joissa vuotoa syntyy verkostoon tasaisesti ympäri vuoden. Tällainen vuoto ei välttämättä erotu sähkönkulutuskäyrästä, vaan se oletetaan menetelmässä laskutetuksi jätevedeksi. Virhe voitaisiin jatkossa ottaa huomioon mittaamalla viemäri-vesivirtaamia pumppaamoille erityisesti öiseen minimikulutuksen aikaan, jolloin saataisiin viitteitä siitä, kuinka paljon verkostossa syntyy tasaista vuotovesivirtaamaa. Näin on tehty esimerkiksi Rannan (2017) diplomityössä, jossa vuotovesien määrällinen arviointi perustui virtausmittauksiin.

Vuotovesiprosentin laskennassa virheitä lisäävät myös KeyAqua- verkkotietojärjestelmästä peräisin olevat vesilaskutustiedot, jotka olivat joiltain osin puutteellisia.

KeyAquaasta haettu, laskennassa käytetty laskutetun jäteveden määrä oli noin 6 % pienempi kuin vesihuoltolaitoksen kirjanpidon mukainen laskutettu jätevesimäärä. Laskennassa käytettiin kuitenkin verkkotietojärjestelmän tietoja, sillä ne saatiin haettua pumppaamopiirikohtaisesti, mikä mahdollisti yksityiskohtaisen vuotovesitarkastelun.

Pumppaamopiirikohtaisia vuotovesiprosentteja laskeessa havaittiin, että erityisesti suurilla linjapumppaamoilla (Heikkilä, Alholahti, Kippari, Anttila, Kaakila) laskennan epätarkkuus vaikutti lisääntyvän. Tällaisilla pumppaamoilla pumpatun jäteveden määrä on erittäin suuri verrattuna alueelta laskutettuun vesimäärään. Tämän vuoksi pienetkin puutteet vesilaskutustiedoissa tai epäjohtonmukaisuudet sähkönkulutuskäyrässä johtavat suhteellisen suureen virheeseen vuotovesiprosentissa ja siten myös vuotomäärissä. Virhettä voitiin korjata laskemalla näille pumppaamoille yhteisiä vuotovesiprosentteja, käsitellen pumppaamopiirejä yhtenä verkostokokonaisuutena. Tällöin epäsuhta laskutetun ja pumpatun veden välillä pienenee ja laskennan tarkkuus kasvaa. Tuloksia voitaisiin saada vertailukelpoisemmiksi, jos verkosto jaettaisiin pumppaamopiirien sijaan kokonaisuuksiin, joiden alueella laskutetun jäteveden tilavuudet olisivat yhtä suuret.

Pumppaamoilla, joilta ei ollut sähkönkulutustietoja saatavilla, kannettavan mittauslaitteiston epätarkkuus erityisesti pieniä virtaamia mitattaessa lisäsi tulosten virheellisuutta. Mittari tukkeutui ajoittain viemäriveden mukana kulkeutuvalla kiintoaineella, ja aiheutti osaltaan virhettä mittaustuloksiin. Lisäksi tutkimuksen aikana ilmenneen virtausmittarin virheellisen kalibroinnin seurauksena osa tutkimusaineistosta jouduttiin jättämään tarkastelusta pois. Virheen korjaamisen jälkeen mitattua virtaamadataa käytettiin vuotovesimäärien arvioinneissa, ja saadut tulokset ovat linjassa muiden pumppaamojen sähkönkulutustietojen perusteella laskettujen tulosten kanssa. Mittausaika kohteissa pidettiin noin viikossa, jotta päiväkohtainen virtaamanvaihtelu ei vääristäisi tuloksia. Tulosten luotettavuutta parantaisivat vieläkin pidemmät mittausajat, sillä esimerkiksi vuodenaikojen välistä vaihtelua ei viikon mittaisella mittauksella voida havaita. Tutkimuksen mittaukset tehtiin pääosin syksyllä kosteaan vuodenaikaan, jolloin on mahdollisuus että saatu vuotovesiprosentti on hieman vuoden keskiarvoaan korkeampi. Pumppaamopiirit, joiden vuotovesimäärät arvioitiin virtaamamittausdatan perusteella, ovat Koskenjoki 1, Koskenjoki 2, Koskenjoki 2, Kielorinne sekä Hovi.

## 5.5 Korjausohjelman laatiminen

Tutkimuksessa tehtyjen havaintojen pohjalta laadittiin korjausohjelma vuotovesiä aiheuttaville verkoston osille. Tarkastuskaivoista ja -putkista tehdyt havainnot jaettiin viiteen luokkaan, jotka määrittelevät niiden korjaustarpeen sekä korjauksen kiireellisyyden. Myös muut verkostossa havaitut viat kuten vuotavat ylivuotoputket, viemärikuvauksissa havaitut puutteet sekä viemäriin yhdistetyt kuivatusputket jaoteltiin korjaustarpeensa mukaisesti. Jaottelun lisäksi korjausohjelmassa tehtiin toimenpide-ehdotus kaikkien havaittujen vikojen korjaamiseksi. Kiireellisimmiksi saneerauskohteiksi valikoituivat erityisesti Hovinrinteen, Kielorinteen, Ylämäen ja Kipparin pumppaamojen ylivuotoputket.

Nämä ovat runsaita pistemäisiä vuotoja, jotka voidaan poistaa varsin yksinkertaisesti ja kustannustehokkaasti. Lisäksi kaivot, joiden teleskooppiosan havaittiin irronneen kaivon rungosta ja vuotavan runsaasti, saivat suuren painoarvon korjausohjelmassa. Narvanjoen, Sorrin sekä Anttilan alueiden vanhoja betonikaivoja on syytä ryhtyä uusimaan niiden runsaan vuotavuuden takia. Myös Karholan alueen kuvattu viemärilinja on syytä saneerata erityisesti kaivojen osalta mahdollisimman pian.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaakilan siirtopumppaamolla vuoden 2017 jätevesivirtaama ja sähkönkulutus ovat lineaarisessa yhteydessä toisiinsa korrelaatiokertoimella 98 %. Tutkimusten perusteella vaikuttaa siltä, että jätevedenpumppaamojen sähkönkulutustietojen perusteella saadaan tietoa myös pumppaamon vaikutuspiirissä syntyvistä viemäriverkoston vuotovesimääristä. Korrelaation ei ole todistettu olevan yhtä vahva kaikilla pumppaamoilla, mutta pumppaamojen toimintaperiaatteen ollessa samankaltainen teoriaa katsottiin voitavan soveltaa myös muille tarkastelluille pumppaamoille.

Sähkönkulutustietojen perusteella lasketut vuotovesimäärät ja -prosentit vastaavat melko hyvin todellisuutta; magneettisen virtausmittauksen ja kunnan vesilaskutuskirjanpidon mukainen vuotovesiprosentti Vesilahden kunnan viemäriverkostossa vuonna 2017 oli 43,4 % ja vuotovesilavuus 82 087 m<sup>3</sup>, kun sähkönkulutustiedoilla ja verkostotietojärjestelmän vesilaskutustiedoilla lasketut vastaavat lukemat ovat 43,3 % ja 71 910 m<sup>3</sup>. Ero vuotovesilavuuksissa selittyy käytettyjen vesilaskutustietojen erosta, joka oli noin 6 %.

Saatujen tulosten perusteella tutkimusmenetelmissä havaittiin jonkin verran epätarkkuuksien ja virheiden lähteitä. Esimerkiksi verkostossa tasaisena ympäri vuoden jatkuva vuoto voi olla vaikea havaita, sillä se ei aiheuta muutoksia viemäriveresivirtaamassa ja sen myötä myöskään pumppaamon sähkönkulutuksessa. Esimerkiksi pumppaamojen koon vaikutuksesta sähkönkulutusten perusteella laskettavaan vuotovesiprosenttiin olisi syytä tehdä lisätutkimusta.

Kenttätutkimuksissa Vesilahden kunnan viemäriverkostossa havaittiin runsaasti vuotovesien lähteitä. Yleisimmät vuotolähteet olivat vuotavat tarkastuskaivot ja -putket. Erityisesti vanhojen betonikaivojen sekä muovikaivojen teleskooppiosien saumoissa havaittiin lukuisia vuotoja. Runsaita vuotoja havaittiin syntyvän myös pumppaamojen ylivuotoputkien kautta. Verkoston vuotavuutta voidaan vähentää korjaustoimiin kohdistuvilla taloudellisilla panostuksilla.



## LÄHTEET

Airix Ympäristö Oy (2011). *Vesilahden kunnan vesihuollon kehittämissuunnitelma*. Saatavissa (viitattu 6.9.2018): <http://www.vesilahti.fi/@Bin/72677/Kehittamussuunnitelma/tekstiosa.pdf>

Bareš, V., Stránský, D., Sýkora, P. (2009). *Sewer infiltration/inflow: long-term monitoring based on diurnal variation of pollutant mass flux*. Water Science & Technology. No.60, Vol.1, pp.1-7.

Beiron, E. (2018). Sähköpostiviestiketju. Karlstads kommun.

Boldan Oy (2018). *Sukitussanastoa*. Verkkosivusto. Saatavissa (viitattu 8.11.2018): <https://www.boldan.fi/fi/sukitussanastoa>

Duran, O., Althoefer, K., Seneviratne, L. (2002). *State of the Art in Sensor Technologies for Sewer Inspection*. IEEE Sensors Journal. No.2, Vol.2, pp.73–81

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (2015). *Pirkanmaan vesihuollon kehittämissuunnitelman päivitys*. Raportteja 58/2015

Euroopan Neuvosto (1991). *Direktiivi 91/271/ETY -yhdyskuntajätteen käsittely*.

Franz, T. (2007) (toim.). *Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results*. Technische Universität Dresden; Institut für Siedlungs- und Industrieressourcenwirtschaft

Grundfos Oy (2014). *Pumppuakatemia - Pumppaamossuunnittelun perusteet*. Saatavissa (viitattu 7.1.2019): <https://docplayer.fi/25276398-Grundfos-pumppuakatemia-pumppaamossuunnittelun-perusteet.html>

Grundfos Oy (2018). Tekninen tuki; puhelinkeskustelu 7.12.2018

Hermansson, M. (2016). *Inläckage i avloppssystemen kostar miljonbelopp*. Lehtiartikkeli, Svenska Radion, 21.3.2016. Saatavissa (viitattu 11.9.2018): <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=93&artikel=6436093>

Heusala, T (2005). *Vuotovesimäärän vähentäminen Lempäälän kunnan viemäriverkostossa*. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto

Hunter Water Corporation (2008). *Water and sewer design manual. Section 4 - Small to medium submersible sewage pumping stations and sewer rising mains*.

- Kaczor, G., Bugajski, P. (2011). *Impact of Snowmelt Inflow on Temperature of Sewage Discharged to Treatment Plants*. Polish Journal of Environmental Studies. Vol.21, No.2, pp.381-386.
- Kaczor, G., Chmielowski, K., Bugajski, P. (2017). *Influence of extraneous waters on the quality and loads of pollutants in wastewater discharged into the treatment plant*. Journal of Water and Land Development. No.33, pp.73-78.
- Kajosaari, E. (1981). *Vesihuolto*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL, 456 s.
- Karpf, C., Hoefft, S., Scheffer, C., Fuchs, L., Krebs, P. (2011). *Groundwater infiltration, surface water inflow and sewerage exfiltration considering hydrodynamic conditions in sewer systems*. Water Science & Technology. Vol.63, No.9.
- Karttunen, E. (2004). *Vesihuolto*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 684 s.
- Karttunen, E. (2010). *Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: 1, Perusteet ja toiminnallisuus*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL, 177 s.
- Katko, T. (2016). *Finnish Water Services - Experiences in global perspective*. Helsinki: Finnish Water Utilities Association, 288 p.
- Kurttila, O. (2015). *Oulun jätevesiverkoston vuotovesiselvitys virtaamien, sadannan ja lumensulannan perusteella*. Diplomityö, Oulun yliopisto
- Laakso, T. (2016). *Viemäreiden vuotavuus: Tietolähteet ja tilannekuva*. Aalto-yliopisto: Vesi- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmä. Koulutusmateriaali.
- Laki vesihuoltolain muuttamisesta (681/2014). Maa- ja metsätalousministeriö
- Laki vesihuollon tukemisesta. (686/2004). Ympäristöministeriö.
- Lempäälän Vesi- liikelaitos (2016). *Vesi- ja jätevesimaksutaksa*. Saatavissa (viitattu 1.11.2018): [https://www.lempaala.fi/site/assets/files/5106/vesi\\_j\\_tevesitaksat\\_2017.pdf](https://www.lempaala.fi/site/assets/files/5106/vesi_j_tevesitaksat_2017.pdf)
- Lempäälän Vesi- liikelaitos (2018). Vesilaskutustiedot.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999). Ympäristöministeriö.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2008). *Vesihuoltoverkkojen nykytila ja saneeraustarve. YVES-tutkimuksen päivitys 2008, 2312-C9259 (FCG Planeko Oy)*
- Matero, M. (2017). *Kaivomateriaalin valinta vuotovesien hallinnan näkökulmasta Oulun veden jätevesiviemäriverkostossa*. Diplomityö, Oulun yliopisto

Nassiraei, A., Kawamura, Y., Ahrary, A., Mikuriya, Y., Ishii, K. (2007). *Concept and Design of A Fully Autonomous Sewer Pipe Inspection Mobile Robot "KANTARO"*. Roma, Italy 14.10.2007: International Conference on Robotics and Automation.

Ojala, M. (1983). *Jätevesiviemärien vuotovesitutkimus*. Rakennushallitus: Raportti 9:1983.

Pöyry Oyj (2018). *Lempäälä-Vesilahti vesihuollon operointisopimus*. Sopimusluonnos. Saatavissa (viitattu 18.2.2019): [https://www.lempaala.fi/vesi/wp-content/uploads/sites/2/2018/10/2018\\_3.pdf](https://www.lempaala.fi/vesi/wp-content/uploads/sites/2/2018/10/2018_3.pdf)

Rakennustieto Oy (2009). *InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 2 Järjestelmät ja täydentävät osat*. Helsinki. 253 s.

Ramboll Oy (2015). *Pirkanmaan keskuspuhdistamo - Yleissuunnitelma*. Saatavissa (viitattu 18.2.2019): [http://www.keskuspuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2016/01/OT1\\_Yleissuunnitelma.pdf](http://www.keskuspuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2016/01/OT1_Yleissuunnitelma.pdf)

Ranta, H. (2016). *Viemäriverkoston vuotovesilähteiden tutkiminen ja verkostotiedon hyödyntäminen viemärilaitoksilla*. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto

Raynaud, O., Joannis, C., Schoefs, F., Billard, F. (2017). *A model-based assessment of infiltration and inflow in the scope of controlling separate sanitary overflows at pumping stations*. 11th International Conference on Urban Drainage (ICUD 08), 2008, Edinburgh (Scotland), United Kingdom

Rutsch, M., Rieckermann, J., Krebs, P. (2006). *Quantification of sewer leakage: a review*. Water Science & Technology Vol.54, No.6-7, pp.135-144.

Rödel, S., Günthert, W., Brüggemann, T. (2017). *Investigating the impacts of extraneous water on wastewater treatment plants*. Water Science & Technology Vol.75, No.4.

Saastamoinen, M. (2015). *Viemäriverkostoa ja sen ympäristöä koskevien tietojen hyödyntämismahdollisuudet*. Diplomityö, Aalto- yliopisto.

Siintoharju, P. (2016). *Jätevedenpumppaamoiden ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamoiden ohitusten ympäristöriskit ja hallinta Pirkanmaalla*. Pirkanmaan elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus: Raportteja 11/2016. 154 s.

Sola, K., Bjerkholt, J., Lindholm, O., Ratnaweera, H. (2018). *Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland*. Water. 10. 1696. 10.3390/w10111696

Svenskt Vatten AB (2017). *Resultatrapport för VASS Drift 2015*. Saatavissa (viitattu 7.1.2018): <http://www.svensktvatten.se/globalassets/organisation-och-juridik/vass/drift/vass-drift-2015.pdf>

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL (2017). *Rakennetun omaisuuden tila* -raportti - ROTI, 2017. Saatavissa (viitattu 6.9.2018): [https://ril.fi/media/2017/2017-vaikuttaminen/roti-2017/taustat/roti-2017\\_painettu-raportti.pdf](https://ril.fi/media/2017/2017-vaikuttaminen/roti-2017/taustat/roti-2017_painettu-raportti.pdf)

Suomen standardisoimisliitto SFS (2011). Standardi SFS-EN 13508-2: *Investigation and assessment of drain and sewer systems outside buildings. Part 2: Visual inspection coding system*.

Suomen ympäristökeskus SYKE (2019). *Vesihuollon tietojärjestelmä VEETI*. Saatavissa (viitattu 11.2.2019): <https://raportit.ymparisto.fi/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2fJulkiraportti-Tunnusluvut>

Suomen ympäristökeskus SYKE (2017). *Viemärit 2020-prosessi: materiaalit vuosilta 1997–2003*. Saatavissa (viitattu 28.9.2018): <http://hdl.handle.net/10138/173347>

Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo Oy. (2018). *Usein kysyttyä*. Verkkosivut. Saatavissa (viitattu 29.11.2018): <https://www.keskuspuhdistamo.fi/usein-kysyttya/>

Urpilainen, H. (2017). *Viemäriverkoston pumppaustietojen hyödyntäminen vuotovesien kartoittamiseksi Mänttä-Vilppulan tapaustutkimuksessa*. Diplomityö, Oulun yliopisto.

U. S. Environmental Protection Agency (2008). *Review of Sewer Design Criteria and RDII Prediction Methods*. EPA/600/R-08/010

Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla (Vna 157/2017). Ympäristöministeriö.

Valtioneuvoston asetus vesihuoltoasioista (Vna 1560/2011). Oikeusministeriö

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä (Vna 888/2006). Ympäristöministeriö.

Vesihuoltolaki (119/2001). Maa- ja metsätalousministeriö.

Vesilahden kunta (2018). *Kunnanvaltuuston pöytäkirja 2/2018, 26.3.2018*.

Vesilahden kunta (2018). Verkkosivut. Saatavissa (viitattu 6.9.2018): <http://www.vesilahdi.fi/kuntainfo/perustietoa-vesilahdesta/>

Vesilahden kunta (2018). Vesilaskutustiedot.

Vesilaki (587/2011). Maa- ja metsätalousministeriö.

Vesitalkkari Eklöf (2015). *Vuotovesitutkimus 2015. Vesilahden kunta: Narvan viemäri-verkosto*. Saatavissa Lempäälän Vesi- liikelaitoksen arkistosta pyydettyäessä.

Vuove-Insinöörit Oy (2018). *Menetelmäkuvaus*. Verkkosivusto. Saatavissa (viitattu 16.10.2018): [www.vuove.fi](http://www.vuove.fi)

Weiß, G., Brombach, H., Haller, B. (2002). *Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis*. Water Science & Technology. Vol.45, No.7, pp.11-19.

Wittenberg, H., Aksoy, H. (2010). *Groundwater intrusion into leaky sewer systems*. Water Science & Technology. Vol.62, No.1, pp.92-98.

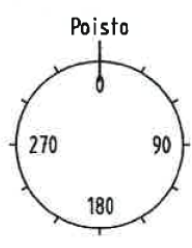
Wirahadikusumah, R., Abraham, D., Iseley, T., Prasanth, R. (1998). *Assessment technologies for sewer system rehabilitation*. Automation in Construction. Vol.7, No.4, pp.259-270.

Yap, H., Ngien, S. (2017). *Assessment on inflow and infiltration in sewerage systems of Kuantan, Pahang*. Water Science & Technology. Vol.76, No.11.

Ympäristönsuojelulaki (527/2014). Ympäristöministeriö.

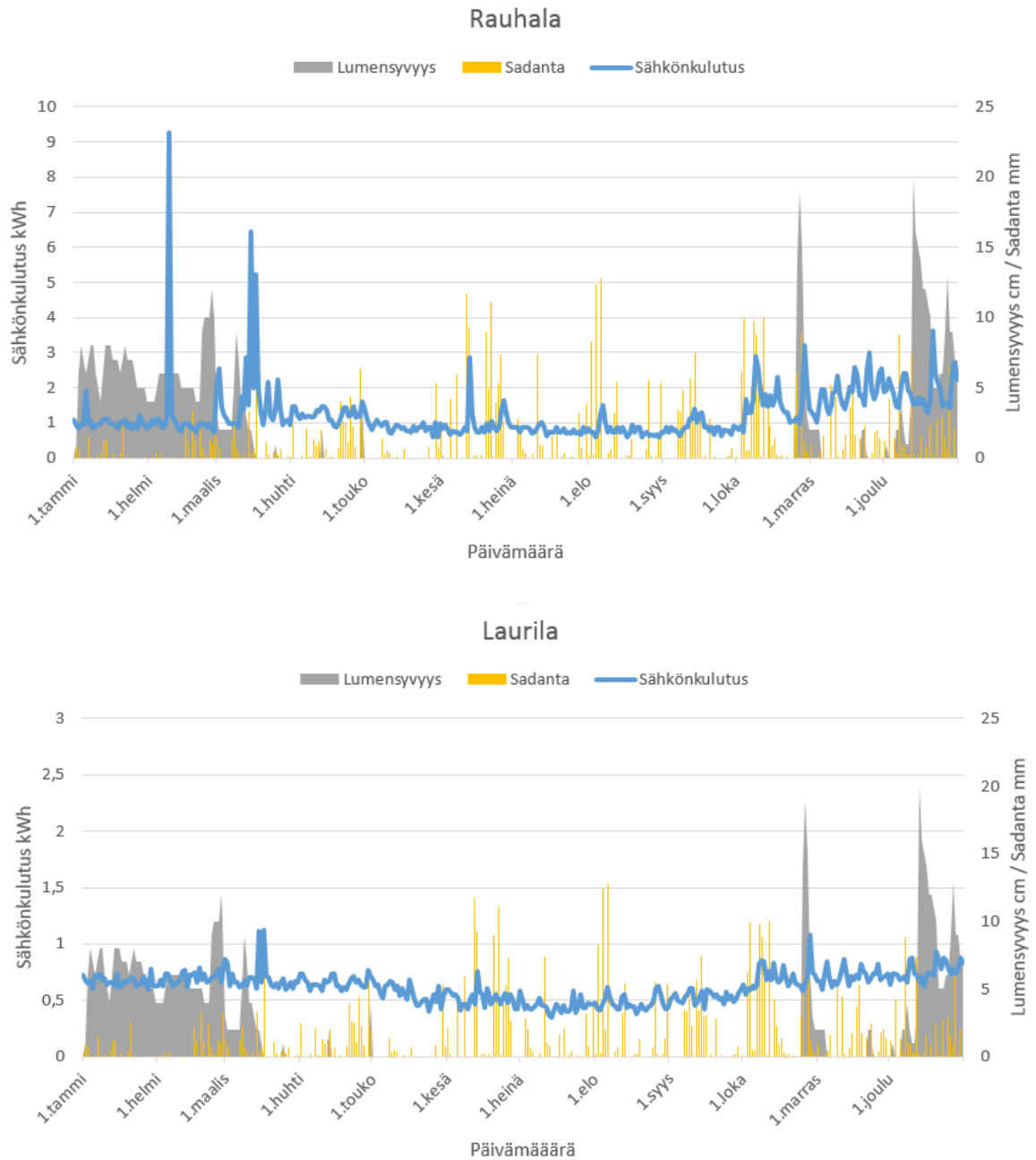
Zhang, M., Liu, Y., Cheng, X., Zhu, D., Shi, H., Yuan, Z. (2018). *Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring*. Journal of Hydrology Vol.558, pp.174-183.

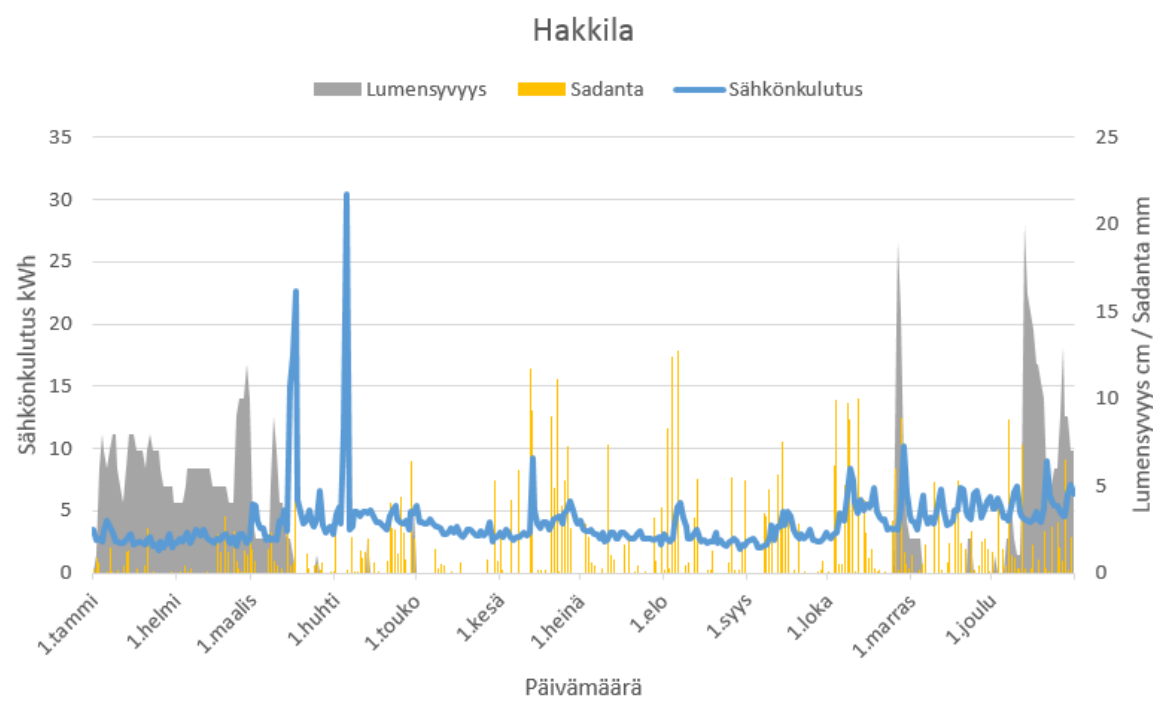
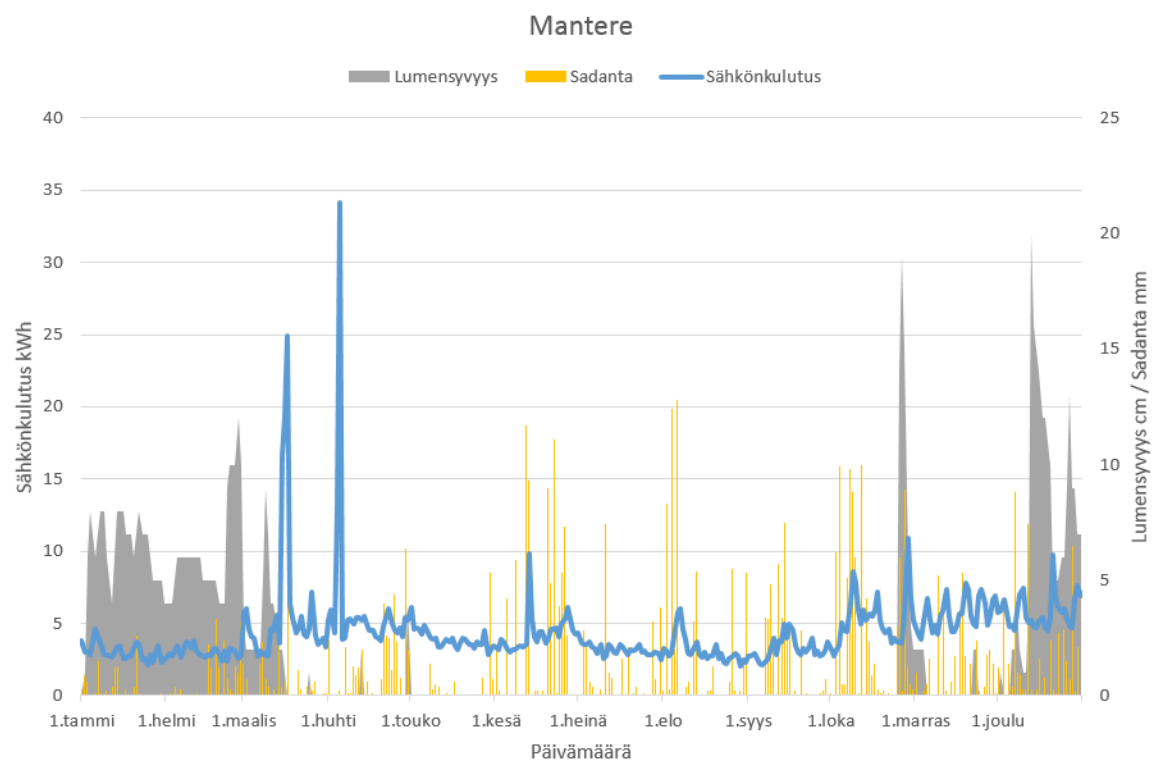
# **LIITE A: KAIVOKORTTI**

Kaivo nro		Putki- laatu	Halkaisija	Kork. cm vesijuoks.	Kulma asteina	Kaltevuus cm/m
X		Poisto				
Y		Tulo 1				
Z kansi		Tulo 2				
Korkeus		Tulo 3				
		Tulo 4				
Ulkohalk.	Vesilukko <input type="checkbox"/> Ei vesilukkoa <input type="checkbox"/>					
Materiaali	Korkeuden lisäksi Hiekkapesä <input type="checkbox"/> _____ cm					
Tyyppi	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>           Ilman teleskooppia <input type="checkbox"/>            Teleskoopilla <input type="checkbox"/>            Umpikansi <input type="checkbox"/> </div> <div>           RST-hattu, kahvallinen <input type="checkbox"/>            Säätöputki 0.8m <input type="checkbox"/> _____ m            Ritiläkansi <input type="checkbox"/> </div> <div>           Ilman kahvaa <input type="checkbox"/>            25 t <input type="checkbox"/> 40 t <input type="checkbox"/> </div> </div>					

## LIITE B: PUMPPAAMOKOHTAISET KUVAAJAT

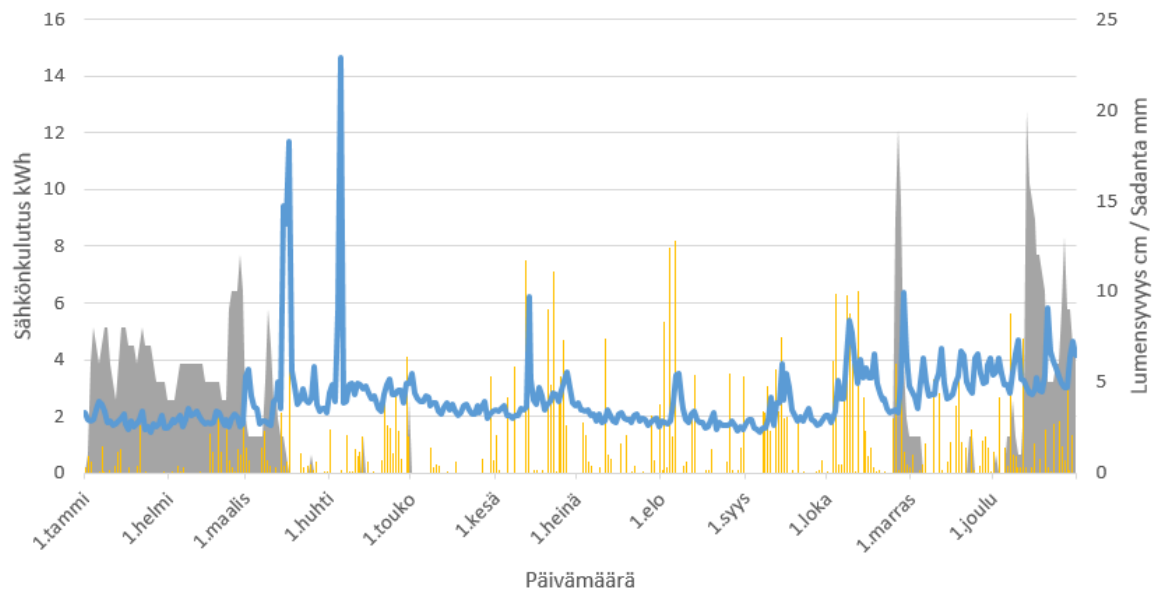
Kuvaajissa on esitetty kunkin pumppaamon sähkönkulutukset, sadannat ja lumensyvyyydet vuonna 2017. Kuvaajista nähdään erityisesti sadetapahtumien ja lumen sulamisen vaikutus sähkönkulutuksiin.



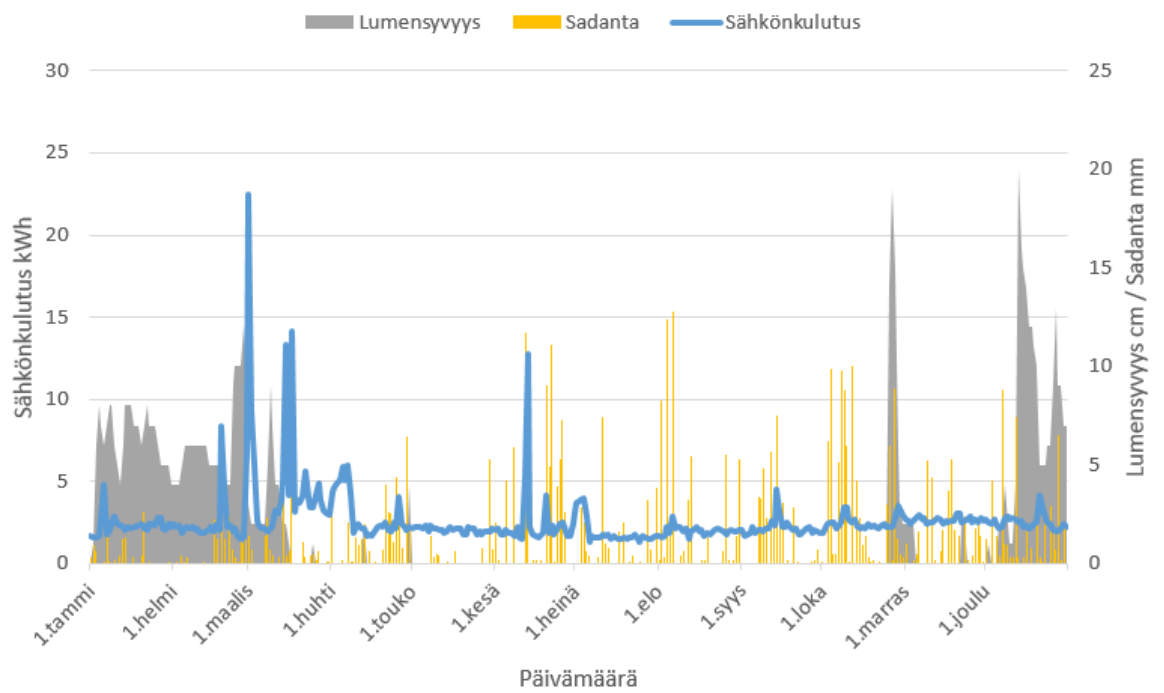




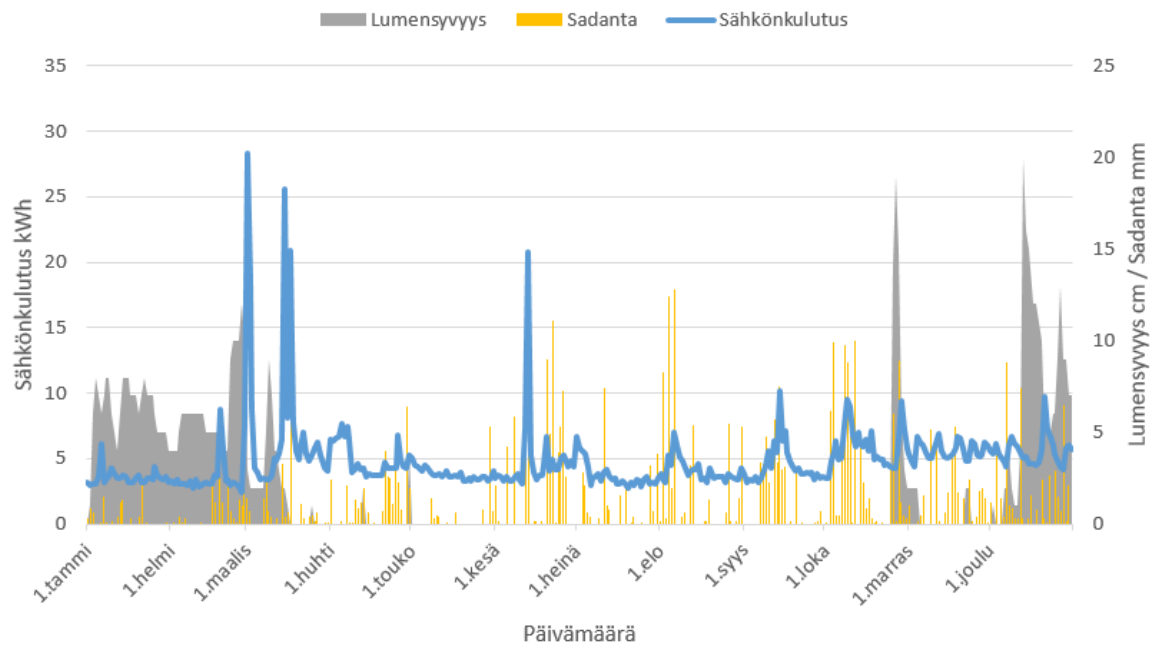
## Koskenkylä 1



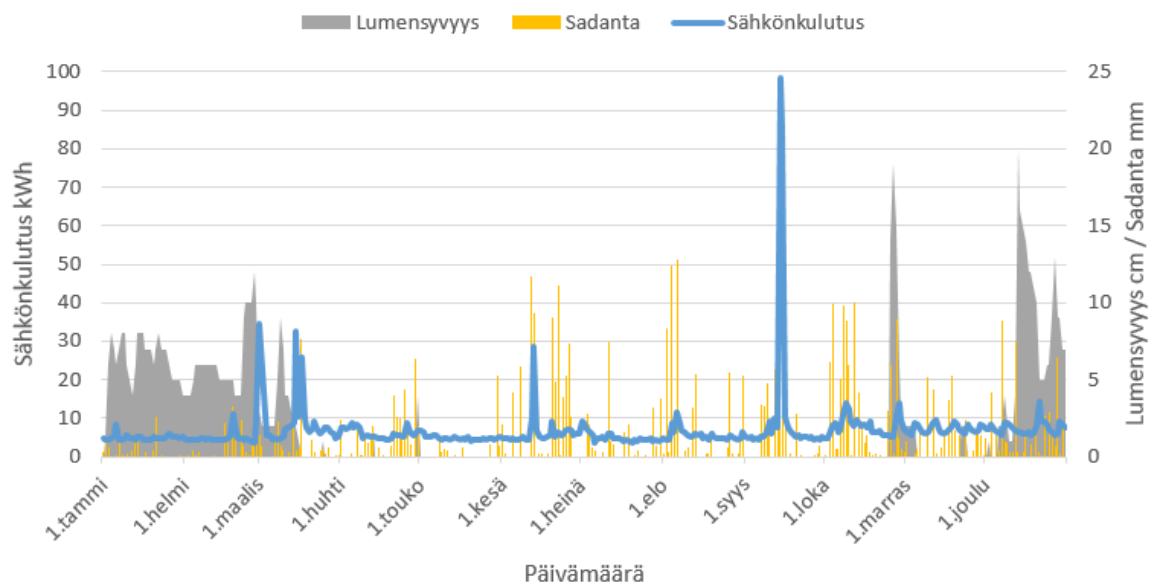
## Ylämäki

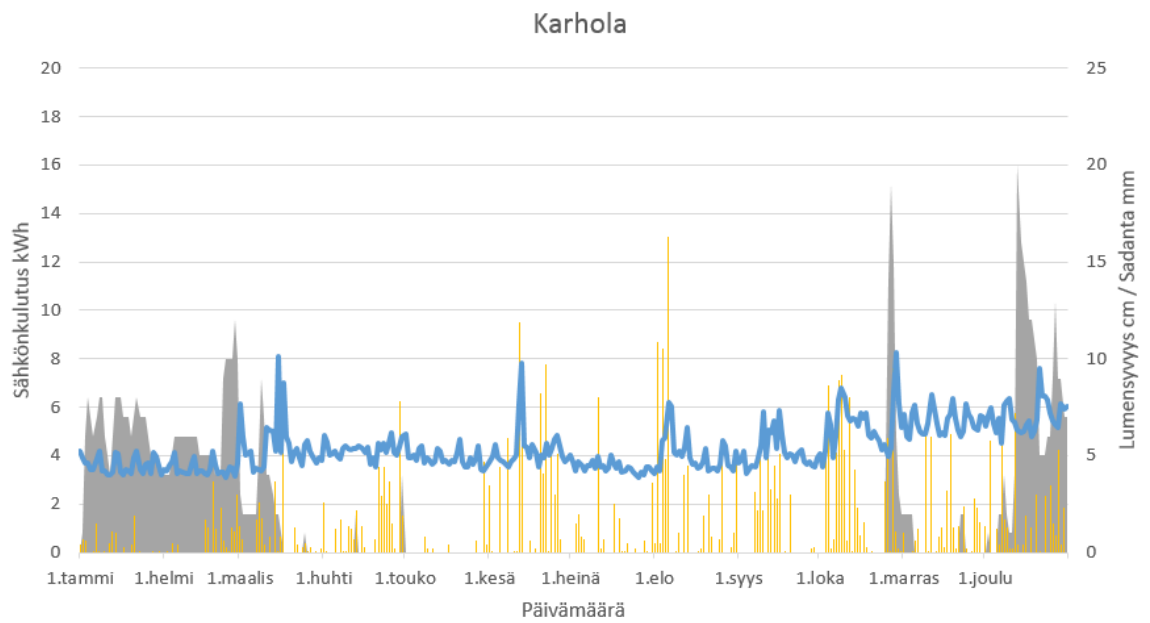
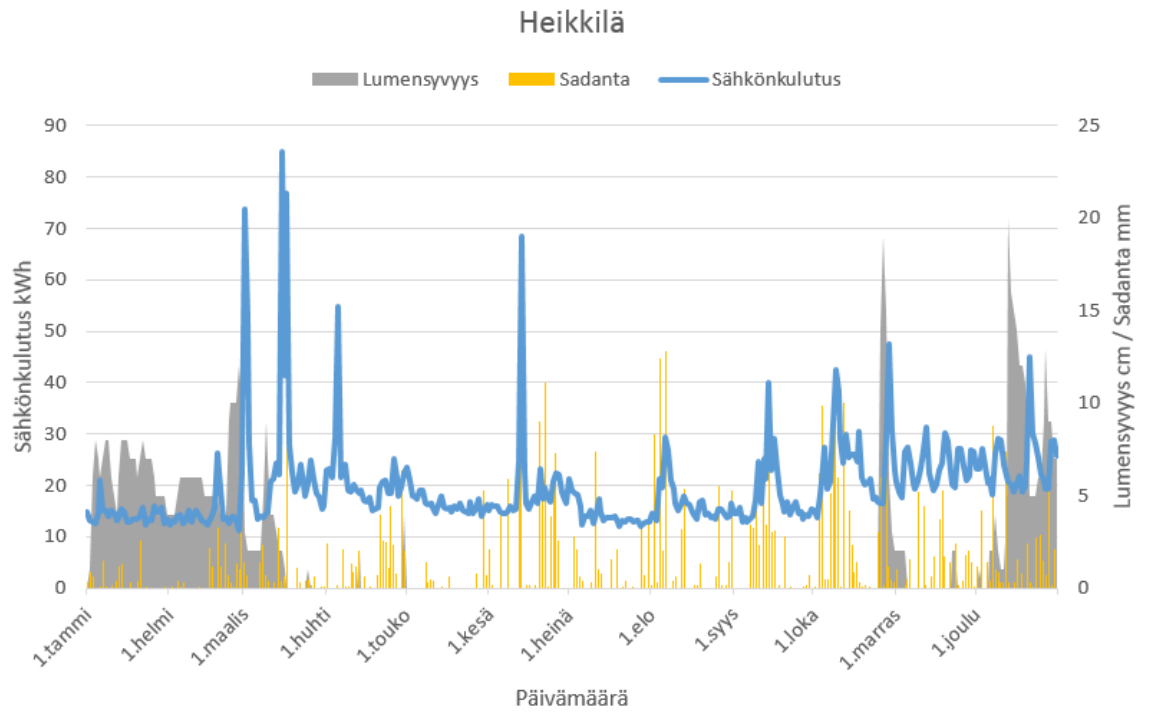


## Tervakallio

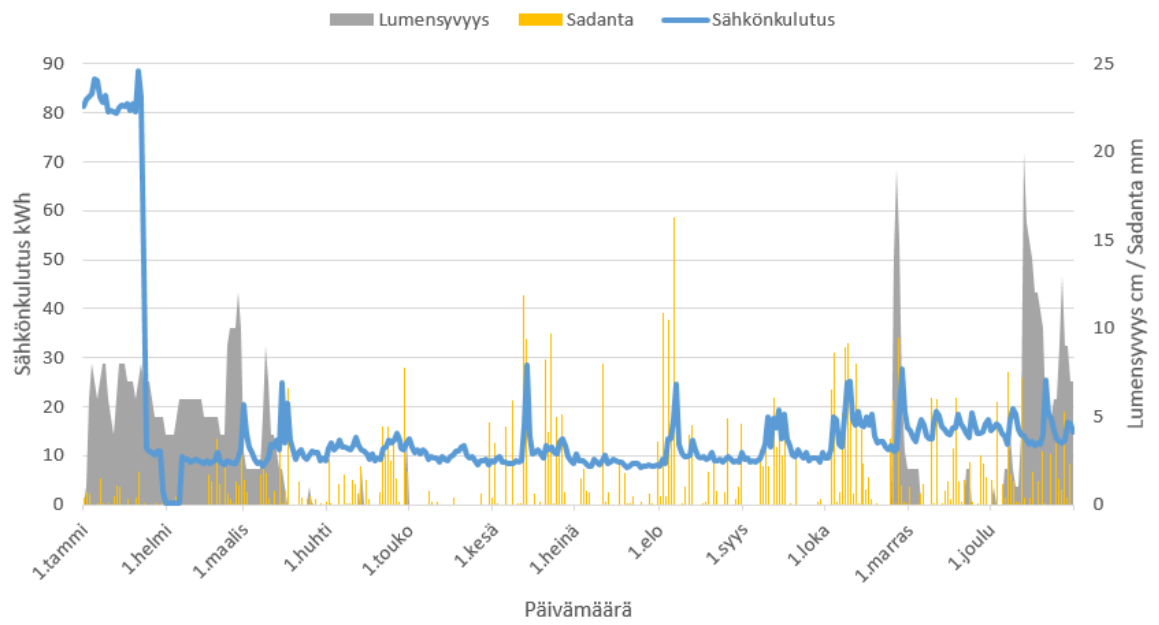


## Montinoja

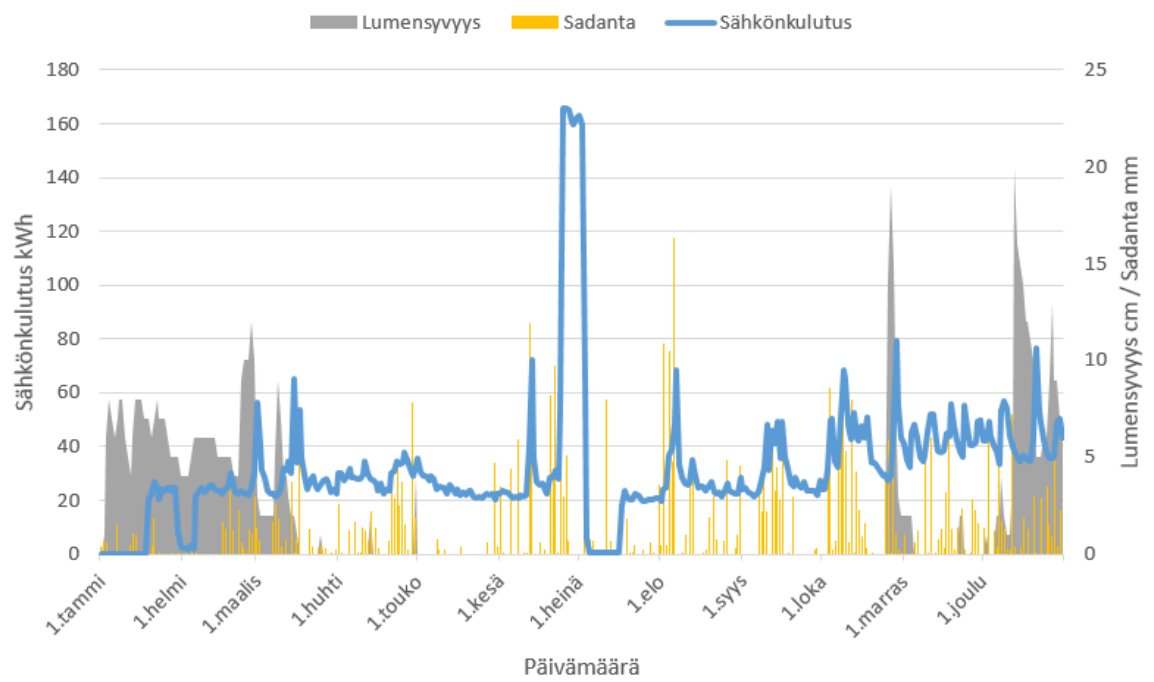




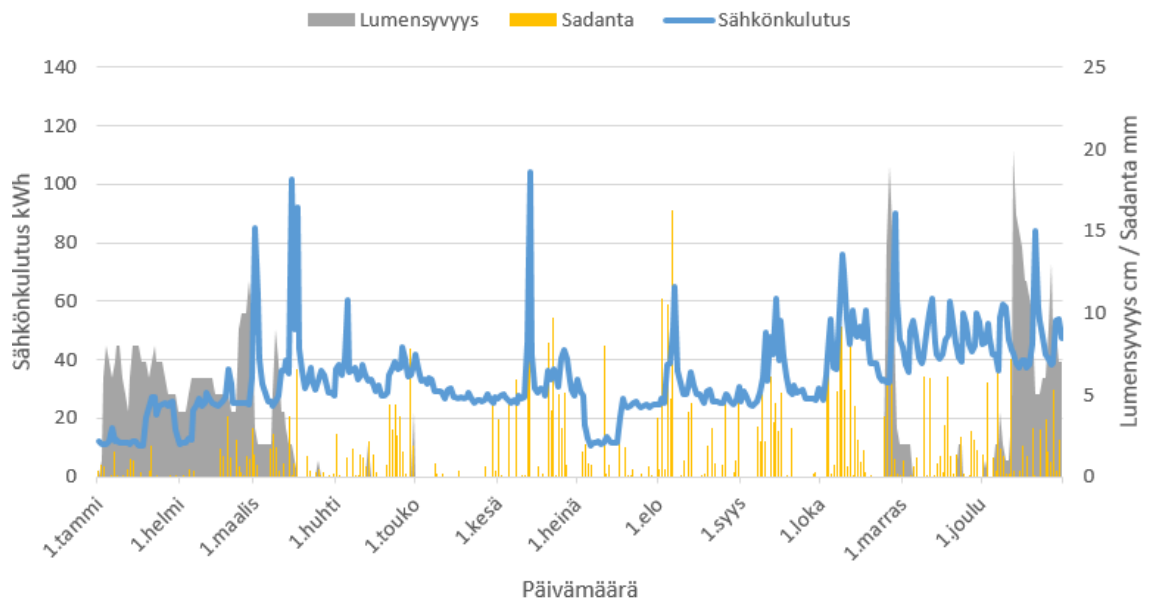
## Narvanjoki



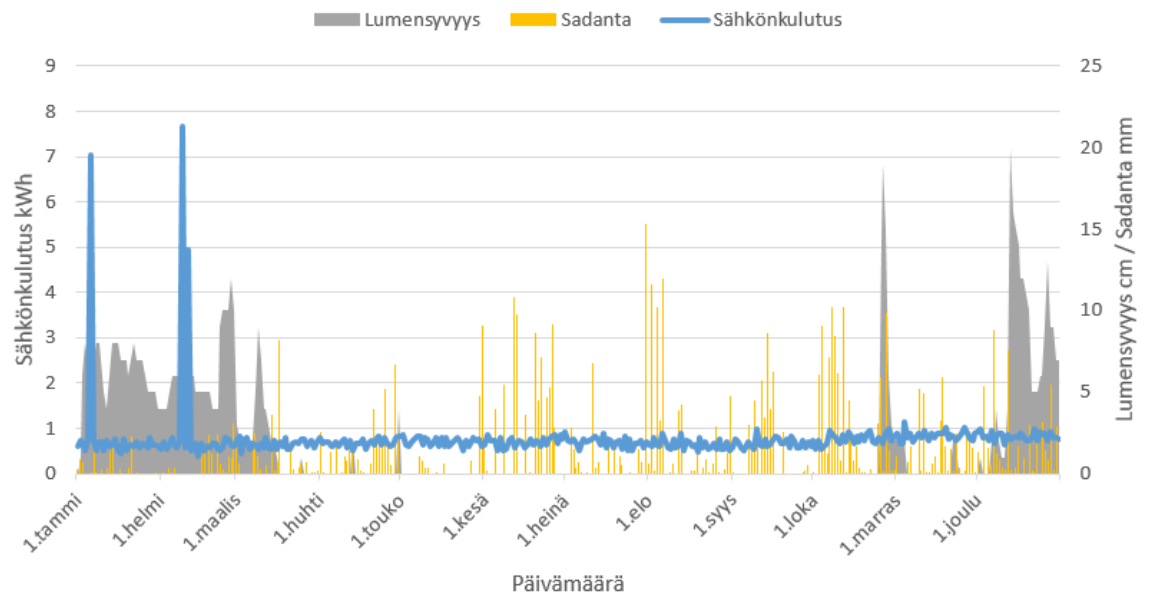
## Kippari

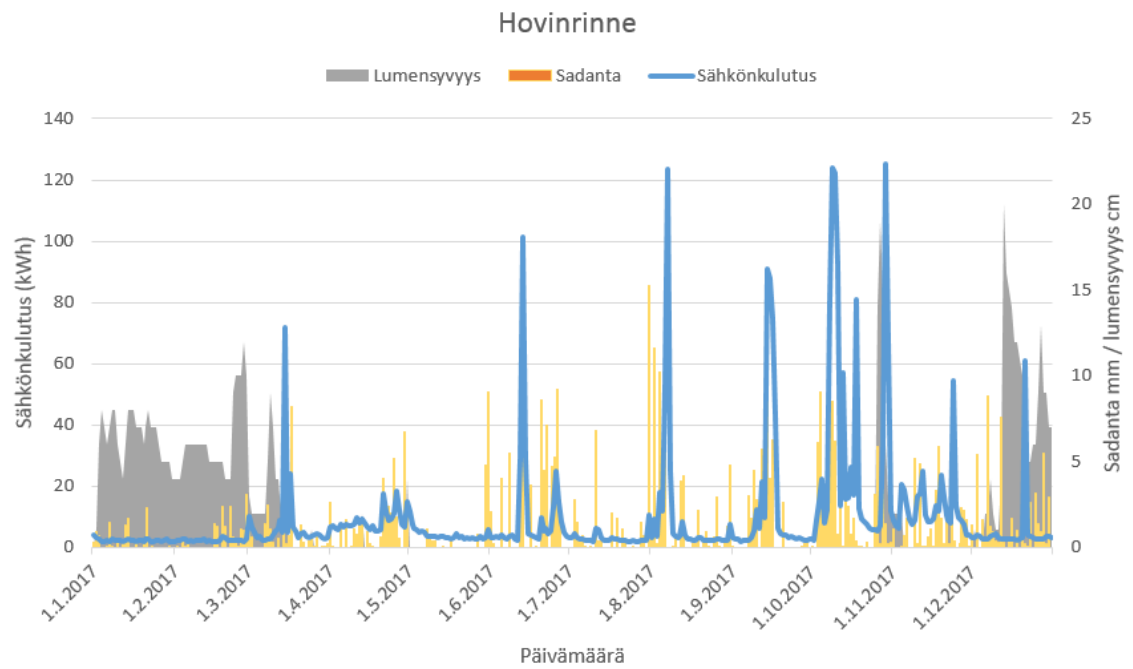
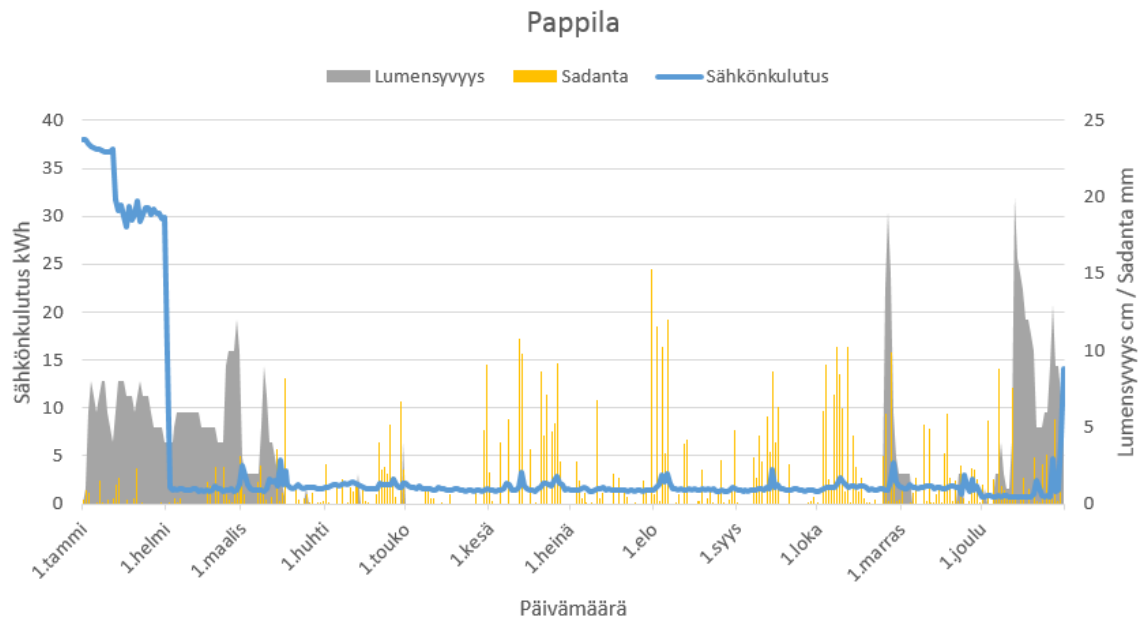


### Alhonlahti

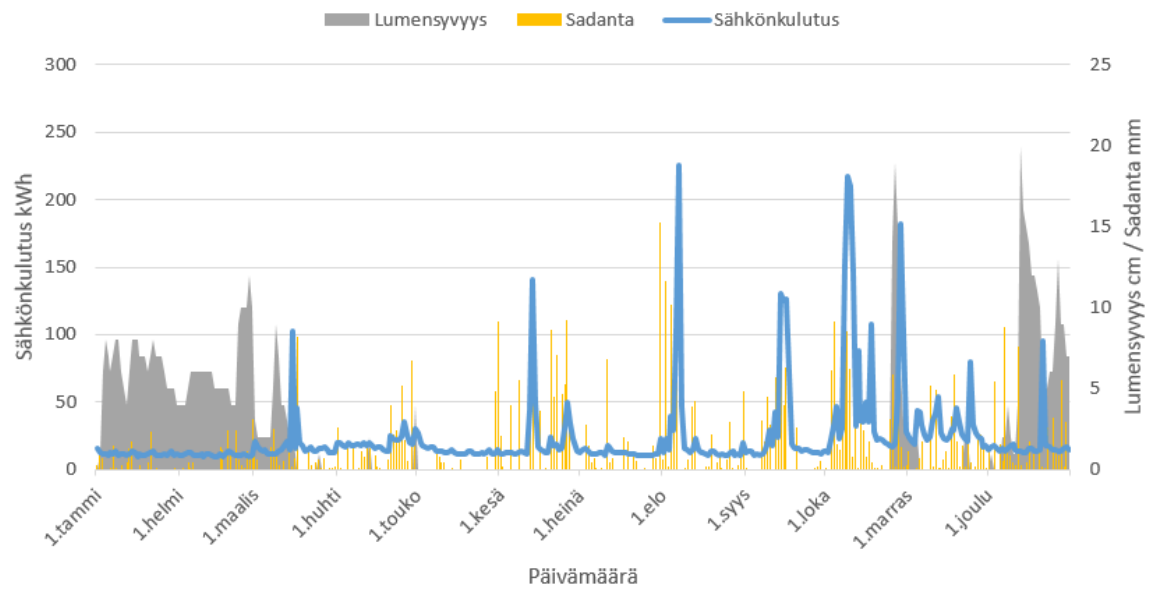


### Veikkola

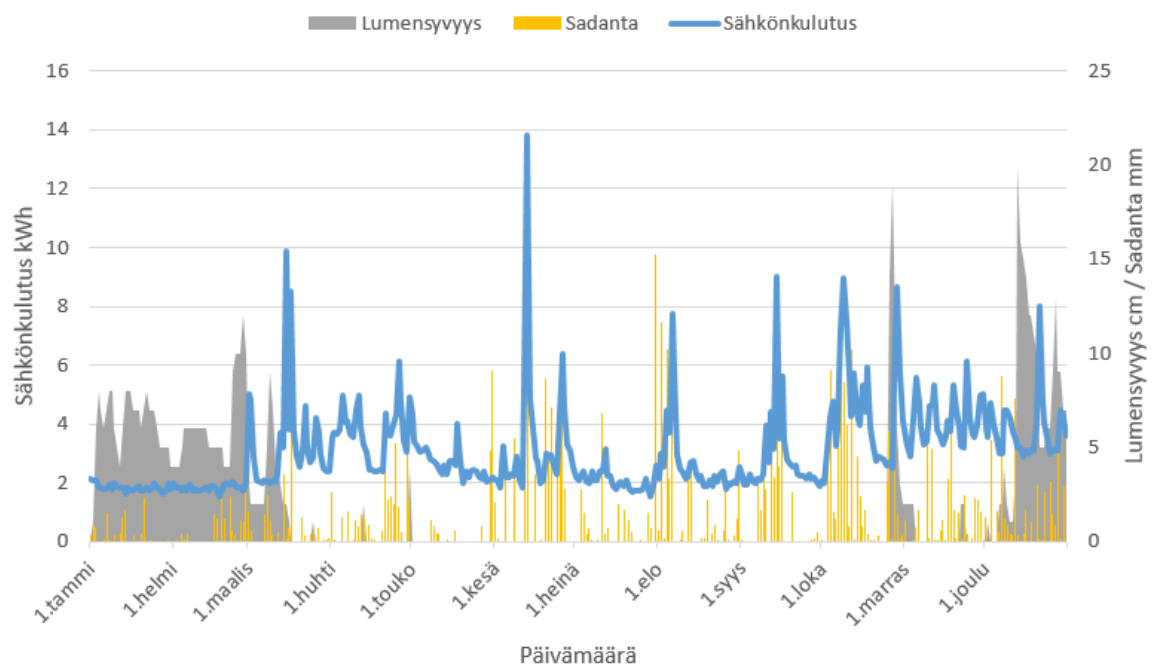




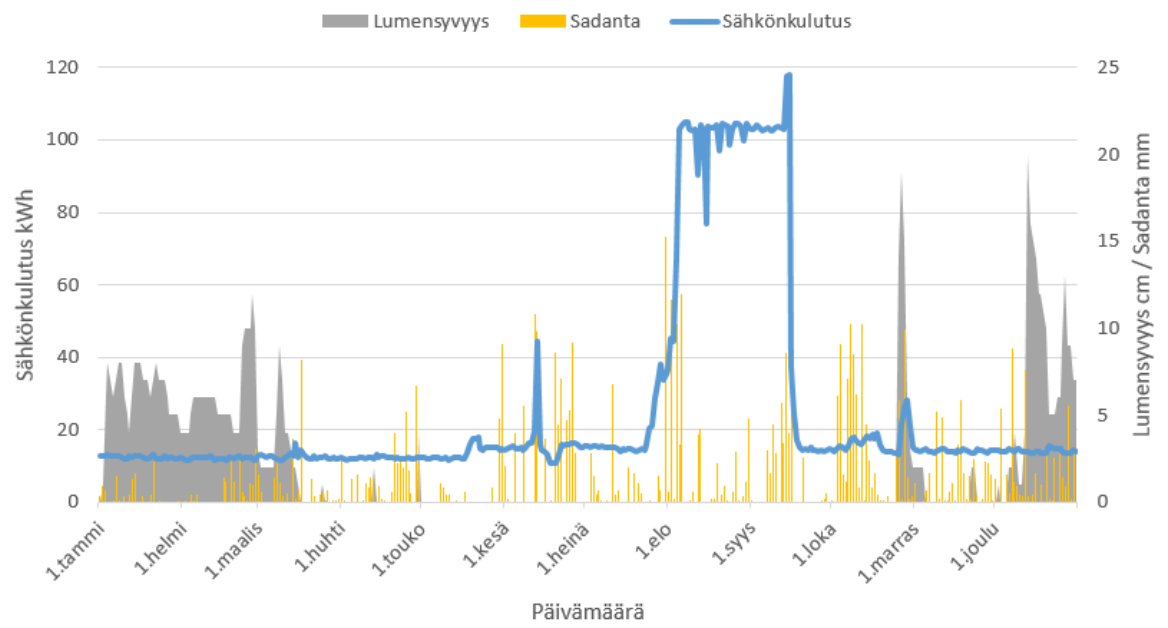
## Anunki



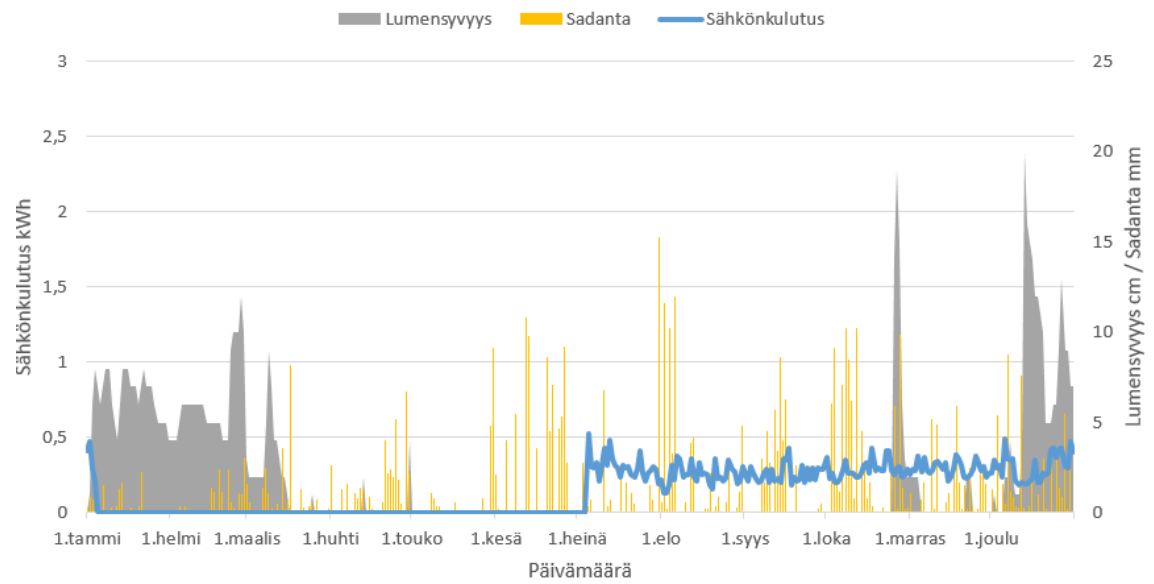
## Sorri



## Heiska

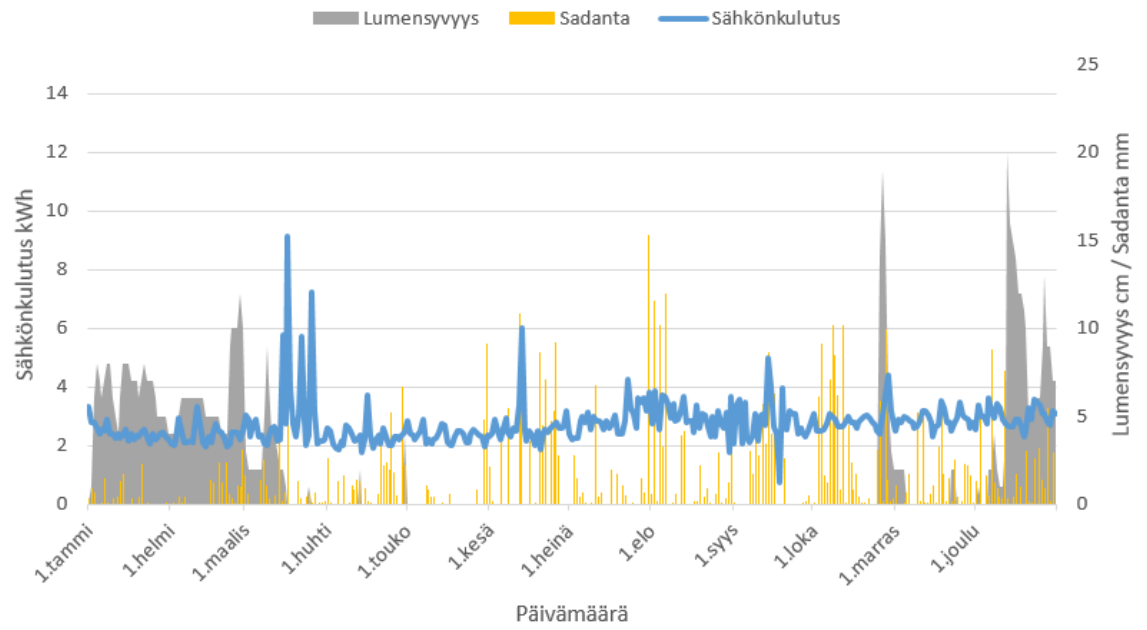


## Kirkkolahti

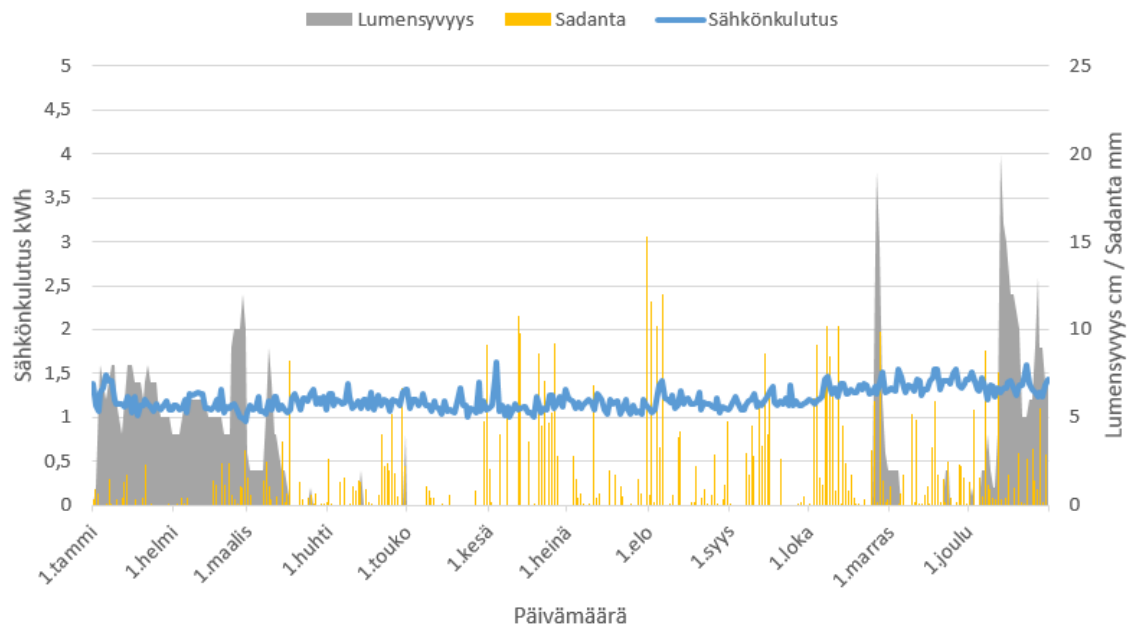




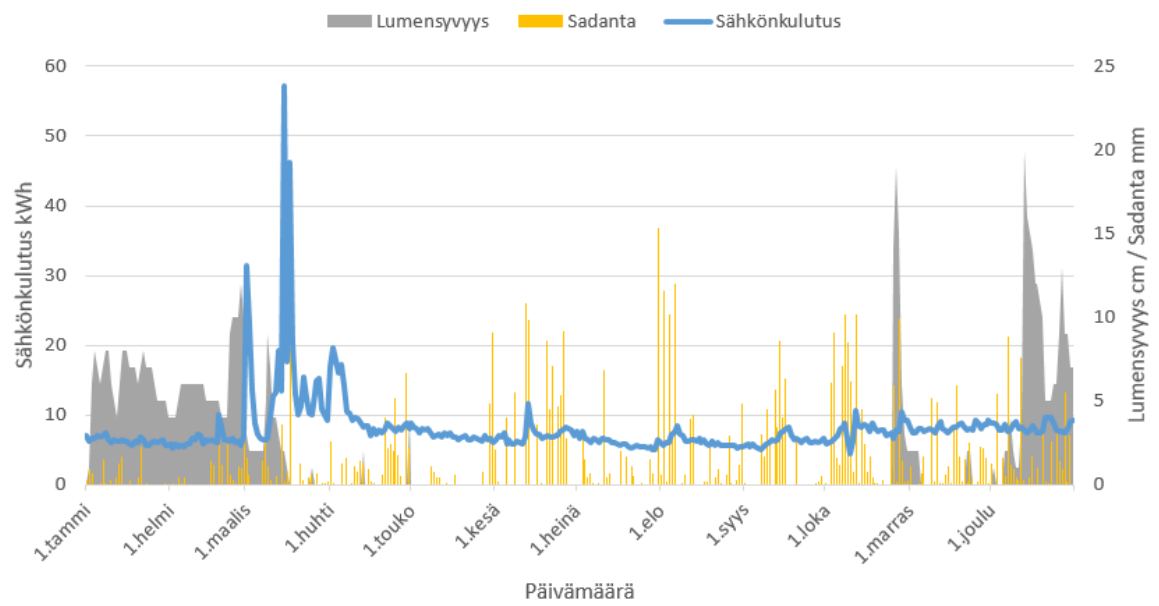
## Kuulia



## Varpe



### Kaakilanmutka



### Kaakila

